

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

INFLUÊNCIA DO PREPARO INICIAL SOBRE A ESTRUTURA DO SOLO QUANDO DA ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, AVALIADA POR MEIO DA PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO⁽¹⁾

R. B. SILVA⁽²⁾, M. S. DIAS JUNIOR⁽³⁾, F. L. SANTOS⁽⁴⁾ & C. A. B. FRANZ⁽⁵⁾

RESUMO

Os efeitos do tráfego e do tipo de preparo sobre a estrutura dos solos agrícolas, quando da adoção do sistema plantio direto na região dos Cerrados, têm sido pouco pesquisados. Os estudos desenvolvidos são apenas qualitativos e utilizam-se, geralmente, de propriedades, tais como: a densidade do solo e a resistência do solo à penetração, as quais não possibilitam prever quanto de pressão o solo pode receber de forma que, em manejos futuros, a compactação possa ser evitada. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do preparo inicial do solo quando da adoção do sistema plantio direto sobre a estrutura de um Latossolo Vermelho distrófico por meio da pressão de preconsolidação (σ_p). Os valores de σ_p foram obtidos a partir da elaboração de modelos de compressibilidade, os quais consideraram a influência dos seguintes fatores: (1) preparo inicial do solo: arado de aivecas (AA), arado de discos (AD), grade aradora (GA) e vibrosolador (VS); (2) manejo: sistema plantio convencional (PC), o qual foi utilizado como testemunha para avaliar a influência dos preparos e (3) profundidade: superficial (SP - 0,00 a 0,05 m) e profundidade média de trabalho dos implementos (PMT - 0,24 a 0,27 m). Os resultados evidenciaram que a σ_p mostrou-se eficiente na avaliação da influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da instalação do sistema plantio direto no Latossolo Vermelho distrófico, tendo o seu valor variado entre preparos e profundidades estudados. A σ_p evidenciou maior resistência mecânica e, portanto, maior consolidação da estrutura do solo na profundidade SP dos tratamentos da área sob plantio direto. Verificou-se, também, que os preparos iniciais avaliados reduziram a resistência mecânica do solo na profundidade

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. Projeto financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em junho de 2002 e aprovado em outubro de 2003.

⁽²⁾ Pós-Doutorado em Agronomia do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP. Faz. Experimental Lageado. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: rbsilva@fca.unesp.br

⁽³⁾ Professor da Universidade Federal de Lavras - UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: msouzadj@ufla.br

⁽⁴⁾ Estudante de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia Agrícola, UFLA.

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Cerrados. Rod. Brasília-Fortaleza km 18, CEP 73301-970 Planaltina (DF). E-mail: franz@cpac.embrapa.br

PMT, quando comparados à do sistema plantio convencional. Todavia, são o vibrosolador e o arado de discos os implementos recomendados para alívio dessa resistência, isto é, para a melhoria da estrutura do solo nas profundidades SP e PMT, respectivamente, quando da adoção do sistema plantio direto.

Termos de indexação: pressão de preconsolidação, Latossolo, preparo do solo.

SUMMARY: *INFLUENCE OF INITIAL TILLAGE OPERATIONS ON THE SOIL STRUCTURE APPRAISED THROUGH THE PRECONSOLIDATION PRESSURE WHEN ADOPTING THE NO TILL SYSTEM*

Little research has yet been done into the effects of traffic and tillage operations on agricultural soil structures of the Cerrado region before and during the implantation of no till systems. However, the developed studies are only qualitative and usually use properties such as soil bulk density and penetration resistance. These variables cannot predict the pressure the soil can withstand so that soil compaction through future soil management could be avoided. The objective of this work was to evaluate the influence of the initial tillage operations at the adoption of the no till system on the soil structure of a dystrophic Red Latosol through the preconsolidation pressure (σ_p). The σ_p values were obtained from soil compressibility models, which take the influence of the following factors into consideration: (1) initial tillage operations: moldboard plow (AA), disk plow (AD) disk harrow (GA) and vibrosolator (VS); (2) soil management: conventional till (PC) which was used as a reference to evaluate the influence of the tillage operations; and (3) depth: Surface layer (SP - 0.00 to 0.05 m) and medium work depth of the tillage implement (PMT - 0.24 to 0.27 m). Results evidenced that the σ_p was efficient at the evaluation of the initial tillage operations when implanting the no till system in the dystrophic Red Latosol, with its varying values according to tillage operation and depth. The σ_p evidenced a larger mechanical resistance and, therefore, larger soil consolidation of the soil structure at SP depth of the area under no till. It was also verified that the appraised initial tillage operations reduced the soil mechanical resistance at the PMT depth, compared to the conventional tillage system. However, the vibrosolator and the disk plow are the recommended tillage tools to relieve this soil resistance, that is, to improve the soil structure in the SP and PMT, respectively, when adopting the no till system.

Index term: Latosol, tillage operations.

INTRODUÇÃO

A maioria dos estudos acerca do comportamento da estrutura dos solos agrícolas, em particular no Brasil, investigou a compactação das camadas do solo, utilizando principalmente a densidade do solo e a resistência à penetração (Balastreire, 1987). Esses estudos não são recentes (Gill & Van den Berg, 1967) e consideram as mais diversas variáveis, tratamentos e condições (Kemper & Vieira, 1978; Alvarenga et al., 1986; Henklain & Casão Júnior, 1989; Carpenedo & Mielnicsuki, 1990; Henklain, 1997). Entretanto, verifica-se que quase todos se restringem a avaliar o fenômeno da compactação, desconsiderando qualquer possibilidade preditiva. São poucos aqueles que, de fato, buscam modelar o comportamento da estrutura do solo, visando à determinação de sua capacidade de suporte de carga para uma condição específica de manejo, que poderá

ser usada para evitar a compactação adicional do solo (Kondo & Dias Júnior, 1999; Miranda, 2001; Castro Neto, 2001; Silva et al., 2001).

Metodologias clássicas para avaliar o grau de compactação dos solos, como a de Proctor (1933), mostraram a relação direta entre a densidade do solo e a umidade (Hillel, 1982). Entretanto, apesar da sua relativa simplicidade, este ensaio é limitado para o estudo da compactação dos solos agrícolas, porque é realizado a partir de amostras deformadas, destruindo a estrutura do solo, que reflete a história do manejo (Dias Júnior, 1994). Este autor sugere para estudos de capacidade de suporte de carga a utilização de modelos de compressibilidade com base na pressão de preconsolidação (σ_p), que predizem a máxima pressão que um solo pode suportar a diferentes umidades, sem causar compactação adicional, fornecendo, portanto, informações para a prevenção da compactação. A σ_p pode ser obtida

por meio da curva de compressão do solo, que representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e a densidade do solo. Isso pode ser feito utilizando vários métodos, sendo os mais usados o método gráfico de Casagrande (1936) e o proposto por Dias Júnior & Pierce (1995).

A curva de compressão do solo está dividida pela σ_p em duas regiões distintas: a curva de compressão secundária - que representa os níveis de pressão experimentados pelo solo no passado, de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis; e a curva de compressão virgem - que representa as primeiras pressões aplicadas ao solo, de deformações plásticas e não-recuperáveis (Chancellor, 1977; Holtz & Kovacs, 1981; Reinert, 1990; Macedo, 1993; Carpenedo, 1994; Dias Júnior & Pierce, 1995; Rubin et al., 1998; Kondo & Dias Júnior, 1999; Silva et al., 2001).

Estudos têm mostrado que, quando ensaios de compressão uniaxial são realizados em solos que não sofreram pressão prévia ou secagem e umedecimento, a relação entre a pressão aplicada e a densidade do solo será linear, e qualquer pressão aplicada resultará em deformações não-recuperáveis (Dias Júnior & Pierce, 1996). Entretanto, quando os ensaios são realizados em solos que já tenham uma história de manejo, as deformações resultantes poderão ser recuperáveis e não-recuperáveis (Stone & Larson, 1980; Gupta et al., 1989; Lebert & Horn, 1991; Dias Júnior & Pierce, 1996). É na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser cultivado ou trafegado, para que não ocorra compactação adicional, pois é este o componente da curva de compressão que reflete a história de manejo do solo (Dias Júnior & Pierce, 1996).

No Brasil, os estudos da modelagem do comportamento da estrutura do solo com base na pressão de preconsolidação em sistemas agrícolas são recentes. Registros dão conta de que os primeiros trabalhos foram realizados por Macedo (1993), Carpenedo (1994), Dias Júnior (1994), Kondo & Dias Júnior (1999), Silva et al. (1999), Castro Neto (2001) e Miranda (2001). Isto, portanto, evidencia necessidade de mais pesquisas que busquem, cada vez mais, investigar as inter-relações dos mais variados atributos do solo que possam auxiliar na manutenção e sustentabilidade da estrutura dos solos agrícolas, independentemente dos sistemas de manejos utilizados.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do preparo inicial do solo quando da instalação do sistema plantio direto sobre a estrutura de um Latossolo Vermelho distrófico por meio da pressão de preconsolidação (σ_p).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campos experimentais do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-

Planaltina (DF), que estão sobre um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), cujas posições geográficas são definidas pelas coordenadas 15° 36' S e 47° 42' W.

A caracterização física e hídrica do Latossolo Vermelho distrófico está apresentada no quadro 1. A análise granulométrica (argila total-AT, areia grossa, areia fina e silte) foi feita pelo método da pipeta (Day, 1965). A determinação da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP) e teor de matéria orgânica seguiu o método da EMBRAPA (1997). Os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) foram determinados conforme Sowers (1965), enquanto o limite de contração (LC) foi determinado segundo Bowles (1986). A condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) foi obtida por um permeâmetro de carga constante, seguindo o método descrito pela EMBRAPA (1997).

Antes da instalação do sistema plantio direto, em novembro de 1995, quatro preparos foram feitos em parcelas com dimensões de 7 m de largura por 20 m de comprimento, visando à destruição de possíveis camadas compactadas, já que esta área vinha sendo utilizada desde o ano de 1989 sob o sistema plantio convencional. Os implementos utilizados foram um arado de discos (AD), com três discos de 28"; um arado de aivecas (AA), com três aivecas de 14"; uma grade aradora (GA), com 12 discos de 30", e um vibrosolador (VS), com cinco cinzéis de 0,55 m de comprimento, cujas profundidades de trabalho observadas logo após o corte de cada implemento foram de 0,26; 0,28; 0,15 e 0,31 m, respectivamente.

Em novembro de 1999, após quatro anos de instalação do sistema plantio direto, com cultivos de soja, milho, sorgo e milheto, procedeu-se às amostragens para uma caracterização física e hídrica, bem como para uma avaliação e predição da pressão de preconsolidação.

Com vistas em comparar os efeitos dos preparos iniciais, foi avaliada também uma área sob sistema plantio convencional, a qual consiste de uma parcela experimental da EMBRAPA Cerrados que, há pelo menos 15 anos, está cultivada com soja de outubro a maio. Normalmente, nesta parcela, é feita uma gradagem pesada no final da colheita, por volta do mês de maio. Antes do plantio subsequente, é feita uma adubação a lanço, utilizando uma adubadora puxada por um trator de pequeno porte. A incorporação dos restos da cultura é feita por grade aradora (pesada), com discos de 36", com profundidade de trabalho de 0,15 m, alternando-a, na safra seguinte, com arado reversível de três discos, cuja profundidade de trabalho é de 0,26 m.

Os valores de σ_p foram obtidos a partir da elaboração de modelos de compressibilidade, os quais consideraram a influência dos seguintes fatores: (1) preparo inicial do solo: arado de aivecas (AA), arado de discos (AD), grade aradora (GA) e vibrosolador (VS); (2) manejo: sistema plantio convencional (PC)

Quadro 1. Valores médios⁽¹⁾ de Ds, VTP, teor de argila e areia, MO, Ks e limites de consistência (LL, LP, LC, respectivamente, de liquidez, plasticidade e contração) dos materiais de solo das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) do plantio convencional dos diferentes tipos de preparo

Sistema de manejo/preparo	Profundidade (cm)					
	SP			PMT		
	Densidade do solo (Ds), kg m ⁻³					
Plantio convencional	1,21			1,3		
Vibrosolador	1,12			1,04		
Arado de discos	1,18			1,14		
Arado de aivecas	1,17			1,12		
Grade aradora	1,19			1,13		
	Volume total de poros (VTP), m ³ m ⁻³					
Plantio convencional	0,54			0,49		
Vibrosolador	0,56			0,59		
Arado de discos	0,54			0,55		
Arado de aivecas	0,54			0,57		
Grade aradora	0,54			0,56		
	Teor de areia, g kg ⁻¹					
Plantio convencional	450,00			460,00		
Vibrosolador	420,00			446,00		
Arado de discos	436,60			440,00		
Arado de aivecas	480,00			436,00		
Grade aradora	420,00			480,00		
	Teor de argila, g kg ⁻¹					
Plantio convencional	460,00			473,30		
Vibrosolador	420,00			470,00		
Arado de discos	436,00			466,70		
Arado de aivecas	480,00			486,70		
Grade aradora	420,00			443,30		
	Matéria orgânica (MO), g kg ⁻¹					
Plantio convencional	2,93			2,00		
Vibrosolador	4,43			2,00		
Arado de discos	4,83			3,00		
Arado de aivecas	3,56			1,63		
Grade aradora	4,36			2,90		
	Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks), cm h ⁻¹					
Plantio convencional	41,30			51,90		
Vibrosolador	46,60			55,30		
Arado de discos	54,80			55,80		
Arado de aivecas	53,30			53,53		
Grade aradora	38,43			58,10		
	Limites de consistência, kg kg ⁻¹					
	LC	LP	LL	LC	LP	LL
Plantio convencional	0,24	0,28	0,35	0,24	0,27	0,32
Vibrosolador	0,24	0,33	0,40	0,23	0,30	0,37
Arado de discos	0,27	0,31	0,36	0,25	0,29	0,35
Arado de aivecas	0,25	0,30	0,37	0,24	0,28	0,34
Grade aradora	0,24	0,30	0,35	0,23	0,28	0,36

⁽¹⁾ Médias de três repetições.

e (3) profundidade: superficial (SP – 0,00 a 0,05 m) e profundidade média de trabalho dos implementos (PMT– 0,24 a 0,27 m).

A determinação da σ_p foi feita a partir de ensaios de compressibilidade. Para esses ensaios, amostras

indeformadas (0,0652 m de diâmetro por 0,0254 m de altura) foram coletadas, logo depois da colheita, nas profundidades de 0,00 a 0,05 e 0,24 a 0,27 m e, em laboratório, saturadas por capilaridade com água destilada. Após 48 horas, as amostras foram

transferidas para o extrator de placa porosa e, quando necessário, colocadas à temperatura ambiente para equilibrar as seguintes faixas de umidade: 0,05 a 0,17; 0,17 a 0,29; 0,29 a 0,41; 0,41 a 0,53 e de 0,53 a 0,65 kg kg⁻¹.

Estas faixas de umidades foram definidas com base nos limites de consistência (limite de liquidez - LL, limite de plasticidade - LP e limite de contração - LC) dos materiais de solo das áreas sob o cerradão, plantio convencional e das parcelas em que foi aplicado cada preparo, da área sob o sistema plantio direto. Esses limites definem a faixa de plasticidade (LL-LP) não recomendada para o tráfego e, ou preparo do solo, pois, nessa condição, o solo pode sofrer deformações não-recuperáveis. A faixa de friabilidade (LP-LC) define a condição de consistência na qual o solo pode ser trafegado, pois menores danos são causados à estrutura do solo (Kondo & Dias Júnior, 1999; Silva, 2002).

Depois de equilibradas, as amostras foram submetidas a ensaios uniaxiais, usando um consolidômetro, seguindo o método de Dias Júnior (1994), que preconiza a aplicação dos seguintes níveis de pressão: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa até obter 90 % da deformação máxima na amostra (Taylor, 1948). A partir das curvas de compressão, obtiveram-se as pressões de preconsolidação (σ_p), as quais foram plotadas de acordo com a umidade (U) e ajustadas à Equação 1, proposta por Dias Júnior (1994).

$$\sigma_p = 10^{(a + bU)} \quad (1)$$

sendo σ_p : pressão de preconsolidação (kPa); U: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); a e b: parâmetros de ajuste.

O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas (experimento em faixas) com três repetições. A diferença estatística entre as equações que foram ajustadas ao modelo de compressibilidade proposto por Dias Júnior (1994) foi verificada utilizando procedimento proposto por Snedecor & Cochran (1967).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, é apresentado o resumo da análise estatística (comparação das equações de regressões $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$) para as profundidades SP (0,0-0,05 m) e PMT (0,24-0,27 m) do plantio convencional e da área de plantio direto após os preparos: arado de discos (AD), arado de aivecas (AA), grade aradora (GA) e vibrosolador (VS), usando o procedimento proposto por Snedecor & Cochran (1989).

As equações ajustadas ao modelo de compressibilidade, obtidas para o sistema plantio convencional e para o sistema plantio direto com diferentes tipos de preparo inicial, exceto o tratamento grade aradora, diferenciaram-se estatisticamente (Quadro 2), podendo-se inferir que a σ_p de ambas as profundidades são diferentes e devem ser preditas por equações diferentes. Esta diferença certamente está associada aos atributos físicos (Quadro 1) e ao histórico do manejo de cada profundidade, os quais, com o decorrer do tempo e intensidade de uso, específica de cada manejo, são continuamente alterados. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (1999), Kondo & Dias Júnior (1999), Miranda (2001) e Silva (2002).

Nas figuras 1 a 5, são apresentados os modelos de compressibilidade, ajustados, conforme proposição de Dias Júnior (1994), das duas profundidades, para o sistema convencional e os respectivos preparos. Todas as equações e parâmetros de ajustes obtidos foram altamente significativos ($P < 0,01$) e seus coeficientes de determinação variaram de 0,88 a 0,93.

Pela figura 1, observa-se que valores de σ_p , na profundidade PMT, foram maiores do que os valores de σ_p , na profundidade SP, na parcela sob o plantio convencional, especificamente na presença de teores mais elevados de água. Essa maior capacidade de suporte de carga pode estar associada aos maiores valores de D_s , teor de argila e menores valores de VTP e de matéria orgânica na profundidade PMT, quando comparados aos valores encontrados na profundidade SP (Quadro 1).

Quadro 2. Teste de significância, comparando as equações obtidas para as duas profundidades estudadas dentro de cada tratamento

Sistema de manejo/preparo	Parâmetro do modelo		
	F ₁ ⁽¹⁾	Coefficiente angular, b	Intercepto, a
	SP vs PMT		
Plantio convencional	*	**	**
Vibrosolador ⁽²⁾	*	**	ns
Arado de discos ⁽²⁾	ns	**	**
Arado de aivecas ⁽²⁾	ns	*	ns
[Grade aradora] ⁽²⁾	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Teste de homogeneidade dos dados. ⁽²⁾ Preparos de solo ocorridos há quatro anos.
ns, * e **: Não-significativo, significativos a 95 e 99 %.

Os maiores valores de σ_p , observados na profundidade PMP, se associados aos estados de consistência desses solos (LL, LP e LC), recomendam que, para o próximo preparo, especificamente nessa área, a estimativa dos carregamentos a serem aplicados deva ter como referência a σ_p da profundidade SP, porque, se o contrário ocorrer, esta camada, por apresentar menor capacidade de suporte de carga, estará sujeita a sofrer compactação adicional e não-recuperável (Dias Júnior & Pierce, 1999).

Além do mais, a decisão do momento ideal do preparo, considerando a região de friabilidade (RF), deve ser repensada, pois, como mostra a figura 1, além das diferenças na σ_p entre profundidades, percebe-se uma variação nos estados de consistência, principalmente na região de friabilidade, considerada, por alguns autores (Hillel, 1982), como a região indicadora do momento adequado para o preparo. Esses resultados, portanto, denotam a necessidade de identificar o conteúdo de água dentro da região de friabilidade que, de fato, possa ser representativa para que, mediante os modelos de compressibilidade, a σ_p do solo seja criteriosamente estimada.

Quanto aos tipos de preparos (Figuras 2, 3, 4 e 5), com exceção da grade aradora (Figura 5), a σ_p diferiu também entre as profundidades, verificando-se que a profundidade SP apresentou maiores valores de σ_p , justamente nas regiões de friabilidade.

Nas parcelas preparadas com vibrosubsolador (Figura 2) e arado de aivecas (Figura 4), a σ_p da profundidade SP superou a σ_p da profundidade PMT a partir dos $0,16 \text{ kg kg}^{-1}$, enquanto, no arado de

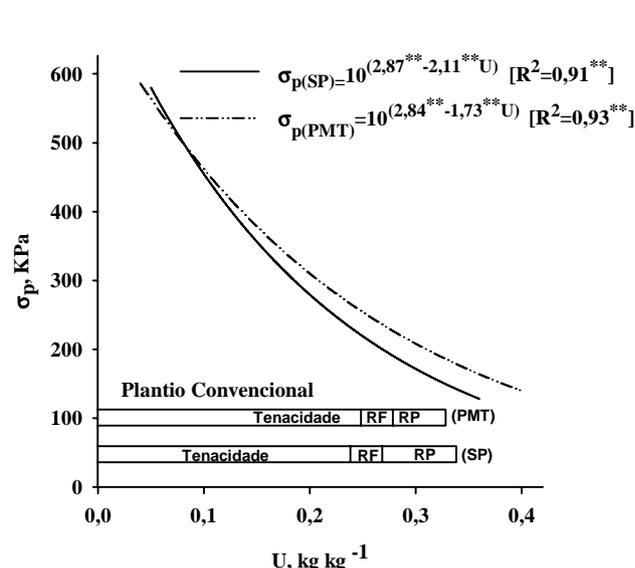


Figura 1. Modelos de compressibilidade ($\sigma_p=f(U)$) e estados de consistência do Latossolo Vermelho distrófico das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) no tratamento PC - (RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade).

discos (Figura 3), isso aconteceu em todas as umidades avaliadas. Os maiores valores de σ_p da profundidade SP, quando comparada à profundidade PMT, podem ser atribuídos à consolidação das camadas superficiais que ocorre nos solos sob sistema plantio direto, resultante do tráfego de máquinas, solicitado especialmente nos primeiros anos de instalação do sistema (Vieira & Muzilli, 1984; Castro et al., 1987; Hill, 1990; Dao, 1996 e Lao, 1996) e da ação dos próprios implementos nas camadas mais profundas do solo, quando submetido ao sistema plantio direto. Neste caso, os resultados evidenciam que, no próximo ciclo, o dimensionamento do parque de máquinas deve considerar a σ_p da profundidade PMT, porque, se o contrário ocorrer, certamente a σ_p do solo será superada e, como consequência, ter-se-á alteração dos atributos físicos e mecânicos, resultando na formação de novas camadas compactadas. Apesar dessa proposição, a avaliação da σ_p de camadas superficiais não deve ser desconsiderada, como abordam Soane & van Ouwkerk (1994) e Horn et al. (1995), pois é ela a responsável pela absorção e distribuição da pressão de contato imposta pelos rodados no perfil do solo.

Na parcela preparada com a grade aradora, não foi verificada diferença entre as pressões de preconsoidação das duas profundidades avaliadas. Isto se deve, muito provavelmente, à consolidação da estrutura da profundidade SP que foi influenciada pelo sistema plantio direto. Dessa forma, a condição da estrutura de ambas as profundidades, avaliadas aqui pelos valores de σ_p , foi uniformizada, haja vista que relatos encontrados na literatura revelam que

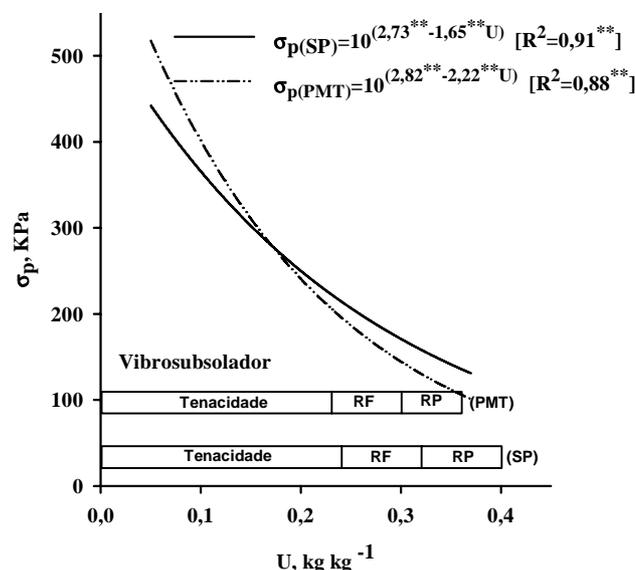


Figura 2. Modelos de compressibilidade ($\sigma_p=f(U)$) e estados de consistência do Latossolo Vermelho distrófico das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) no tratamento VS - (RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade).

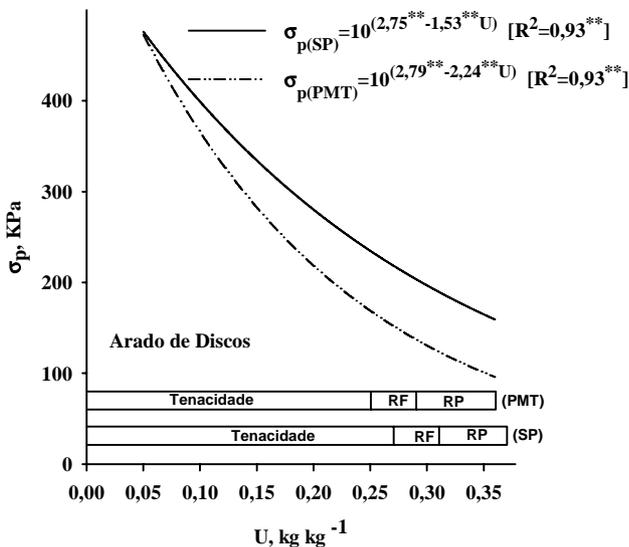


Figura 3. Modelos de compressibilidade ($\sigma_p=f(U)$) e estados de consistência do Latossolo Vermelho distrófico das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) no tratamento AD – (RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade).

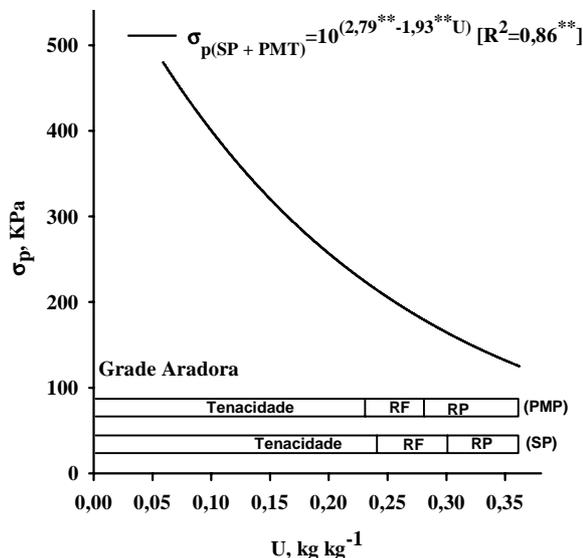


Figura 5. Modelos de compressibilidade ($\sigma_p=f(U)$) e estados de consistência do Latossolo Vermelho distrófico das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) no tratamento GA – (RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade).

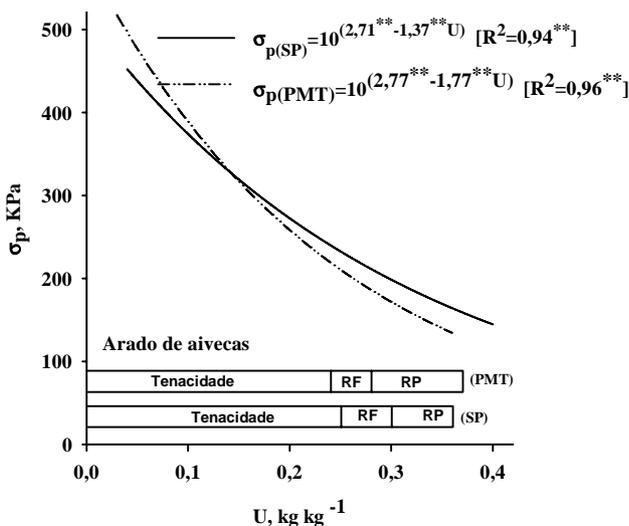


Figura 4. Modelo de compressibilidade ($\sigma_p=f(U)$) e estados de consistência do Latossolo Vermelho distrófico das profundidades SP (0,00 a 0,05 m) e PMT (0,24 a 0,27 m) no tratamento AA – (RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade).

os órgãos ativos da grade aradora sobre a estrutura do solo, especificamente nas camadas mais profundas do solo, geralmente causam compactação, formando o conhecido “pé de grade”. Assim, conforme a proposição de Snedecor & Cochran (1989), os valores de σ_p e umidade das duas profundidades foram juntados, obtendo-se uma nova equação, com R^2 de 0,86, a qual pode estimar para as duas profundidades a pressão de pré-consolidação.

A seguir, o procedimento proposto por Snedecor & Cochran (1989) foi utilizado para comparar as equações ($\sigma_p = 10^{(a + bU)}$) entre os tratamentos nas profundidades SP e PMT (Quadros 3 e 4). Nota-se que, na profundidade SP (Quadro 3), a equação obtida para a área sob o plantio convencional (PC) diferiu estatisticamente das equações obtidas para os preparos com vibrosussolador (VS), arado de discos (AD), arado de aivecas (AA), exceto a grade aradora (GA). O mesmo foi observado entre o vibrosussolador e os demais preparos, o que não foi observado nos preparos com arado de aivecas e com arado de discos. Certificada a não-significância entre as equações (Quadro 3), juntaram-se então os valores de umidade e de σ_p e novas equações foram ajustadas e novamente testadas com os demais preparos.

Na figura 6, é mostrado o comportamento dos modelos de compressibilidade, assim como os parâmetros e coeficientes de determinação das equações obtidas para as parcelas sob o plantio convencional e preparo inicial do solo, da profundidade SP.

Para umidades menores que 0,20 $kg\ kg^{-1}$, as parcelas sob plantio convencional e grade aradora apresentaram maiores valores de σ_p que os demais preparos, e, a partir desta umidade, os valores de σ_p foram menores do que os valores encontrados nas parcelas preparadas com arado de aivecas mais discos (AA + AD) e menores do que os valores do vibrosussolador para umidades maiores que 0,30 $kg\ kg^{-1}$. Na presença de maiores teores de água, os menores valores de σ_p do plantio convencional

Quadro 3. Teste de significância, comparando as equações obtidas para os tratamentos estudados dentro da profundidade SP

Sistema de manejo/preparo	Parâmetro do modelo		
	F ₁ ⁽¹⁾	Coefficiente angular, b	Intercepto, a
PC vs VS	ns	**	ns
PC vs AA	ns	**	ns
PC vs AD	ns	**	ns
[PC vs GA]	ns	ns	ns
VS vs AA	ns	**	**
VS vs AD	ns	*	*
VS vs GA	ns	*	*
[AA vs AD]	ns	ns	ns
AA vs GA	ns	**	ns
AD vs GA	ns	**	ns
Recalculando o F para os modelos que não diferenciaram entre si			
PC + GA vs VS	*	**	**
PC + GA vs AA	ns	**	ns
PC + GA vs AD	ns	**	ns
AA + AD vs PC	ns	**	ns
AA + AD vs VS	ns	ns	*
AA + AD vs GA	ns	**	ns

⁽¹⁾ Teste de homogeneidade dos dados. ns, * e **: Não-significativo, significativos a 95 e 99 %.

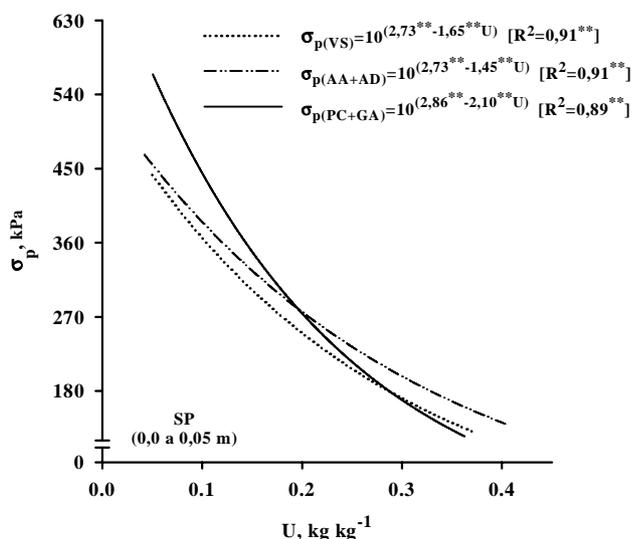


Figura 6. Modelos de compressibilidade, $\sigma_p=f(U)$, do Latossolo Vermelho distrófico coletado na profundidade SP (0,00 a 0,05 m), nas parcelas plantio convencional (PC), vibrosubsolador (VS), arado de discos (AD), arado de aivecas (AA) e grade aradora (GA).

preparos (AA + AD, PC + GA), percebe-se que esses preparos diferiram estatisticamente (Quadro 3). Pelo fato de a equação estimada para o vibrosubsolador apresentar, em geral, os menores valores de σ_p , estes resultados indicam ter sido este o implemento mais eficiente para redução da resistência mecânica do solo, especificamente na camada superficial (0,0 a 0,05 m), apesar de ter havido influência do tráfego, geralmente necessário ao estabelecimento do sistema sobre a estrutura do solo, consolidando, ainda mais, a estrutura dessa camada, como já constatado por Hill (1990), Dao (1996) e Lao (1996).

O quadro 4 apresenta as comparações das equações ($\sigma_p = 10^{(a + bU)}$) obtidas para o cerradão, plantio convencional e os diferentes preparos, de acordo com o procedimento de Snedecor & Cochran (1989), para a profundidade PMT. Nesta profundidade, com exceção das parcelas preparadas com arado de aivecas e grade aradora, as demais foram diferentes estatisticamente. Isso leva a inferir que, apesar do interesse e do benefício trazido pelo preparo do solo à camada arável, cuidados devem ser dispensados às camadas mais profundas dos solos agrícolas, principalmente na área de contato (soleira do implemento) em que atuam os órgãos ativos de cada implemento.

Na figura 7, são apresentadas as equações ajustadas ao modelo $\sigma_p = f(U)$ com seus respectivos parâmetros e coeficientes de determinação da profundidade PMT. A parcela sob plantio convencional apresentou maiores valores de σ_p do que os quatro preparos testados e diferiu estatisticamente destes. Esses resultados, além de mostrarem a ação

justificam-se pelo fato de o solo sob este manejo propiciar menores teores de matéria orgânica, a qual, associada a uma menor agregação, contribui para uma baixa estruturação da matriz do solo.

Comparando a equação obtida para as parcelas em que atuou o vibrosubsolador com as equações obtidas para as parcelas em que atuaram os demais

Quadro 4. Teste de significância, comparando as equações obtidas para os tratamentos estudados dentro da profundidade PMT

Sistema de manejo/preparo	Parâmetro do modelo		
	F ₁ ⁽¹⁾	Coefficiente angular, b	Intercepto, a
PC vs VS	**	**	**
PC vs AA	ns	ns	**
PC vs AD	ns	**	**
PC vs GA	**	ns	**
VS vs AA	**	**	*
VS vs AD	*	ns	ns
VS vs GA	*	**	ns
AA vs AD	ns	*	**
[AA vs GA]	ns	ns	ns
AD vs GA	ns	ns	*
Recalculando o F para os modelos que não diferenciaram entre si			
AA + GA vs PC	ns	ns	**
AA + GA vs VS	**	**	*
[AA + GA vs AA]	ns	ns	ns
AA + GA vs AD	**	**	ns
[AA + GA vs GA]	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Teste de homogeneidade dos dados. ns, * e **: Não-significativo, significativos a 95 e 99 %.

mobilizadora dos implementos avaliados (vibrosubsolador, arado de aivecas, arado de discos e grade aradora) evidenciaram a compactação causada pelo plantio convencional, denotando que o preparo inicial do solo reduziu a resistência mecânica do solo nesta profundidade. Quando se comparam apenas os preparos, percebe-se que, com exceção do AA + GA (Quadro 4), são todos diferentes entre si. A parcela preparada com o vibrosubsolador (Figura 7), apresentou maiores valores de σ_p até à umidade de 0,15 kg kg⁻¹, tendo, a partir desse teor de água, o AA + GA apresentado maiores valores de σ_p .

Ainda com referência à figura 7, verifica-se que a parcela preparada com o arado de discos apresentou menores valores de σ_p quando comparada às parcelas submetidas aos demais preparos e à parcela do plantio convencional, o que confere a esse implemento uma maior eficiência em relação aos outros no que se refere ao alívio de tensões distribuídas na profundidade PMT.

A equação gerada para os preparos AA + GA com R² de 0,91 foi significativa. Isto indica que ela pode descrever a σ_p das parcelas submetidas ao preparo com ambos os implementos. Esta equação diferiu estatisticamente das demais equações obtidas para o plantio convencional, vibrosubsolador e arado de discos. Conforme a equação obtida para esses dois tipos de preparos, percebe-se que a capacidade de ambos os implementos em aliviar a resistência mecânica do solo é menor do que a conseguida com vibrosubsolador e arado de discos, principalmente a partir das umidades de 0,15 e 0,05 kg kg⁻¹, respectivamente.

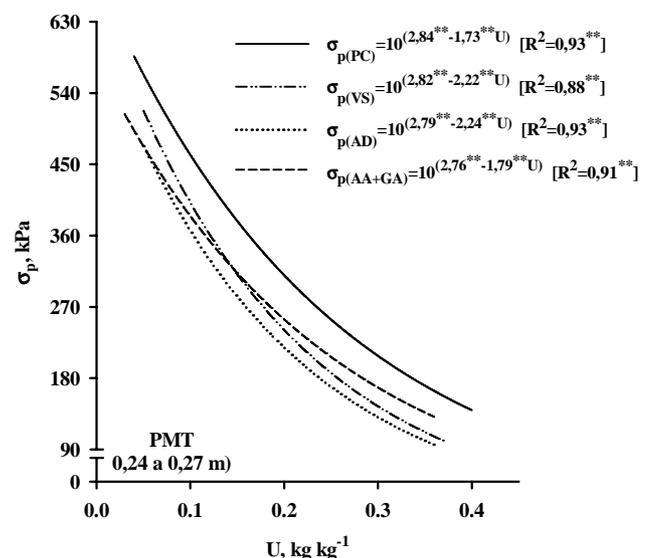


Figura 7. Modelos de compressibilidade, $\sigma_p=f(U)$, do Latossolo Vermelho distrófico coletado na profundidade PMT (0,24 a 0,27 m), nas parcelas do plantio convencional (PC), vibrosubsolador (VS), arado de discos (AD), arado de aivecas (AA) e grade aradora (GA).

CONCLUSÕES

1. A pressão de pré-consolidação (σ_p) mostrou-se eficiente na avaliação da influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho

distrófico, tendo o seu valor variado entre tipos de preparo e profundidades estudadas.

2. A pressão de preconsolidação (σ_p) evidenciou maior resistência mecânica e, portanto, maior consolidação da estrutura do solo na profundidade SP dos tratamentos da área sob plantio direto.

3. Os preparos iniciais avaliados reduziram a resistência mecânica à do solo na profundidade PMT, quando comparados ao sistema plantio convencional. Todavia, são o vibrosolador e o arado de discos os implementos recomendados para alívio dessa resistência, isto é, para melhoria da estrutura do solo nas profundidades SP e PMT, respectivamente, quando da instalação do sistema plantio direto.

LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo Distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 10:273-277,1986.
- BALASTREIRE, L.A. Máquinas agrícolas. São Paulo, Manole, 1987. 307p.
- CARPENEDO, V. Compressibilidade de solos em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. (Tese de Mestrado)
- CARPENEDO, V. & MIELNICSUKI, J. Estado de agregação e qualidade de agregação de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 14:99-105, 1990.
- CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENC., 1936, Cambridge. Proceedings. Cambridge, ICSMFE, 1936. v.3. p.60-64.
- CASTRO NETO, P. Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 2001. 155p. (Tese de Doutorado)
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, A.O.; VIERIA, S.R.; DECHEN, S.C.F. & CANTARELA, H. Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 23p. (Boletim Científico, 11)
- CHANCELLOR, W.J. Compaction of soil agricultural equipment. B. Division Agric. Sci. Univer. California, 1881:1-53, 1977.
- DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. Agron. J., 88:141-148, 1996.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, n.1. p.545-66. 1965.
- DIAS JUNIOR, M.S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. Michigan, Michigan State University, East Lansing, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)
- DIAS JÚNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996.
- DIAS JÚNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Technol., 8:139-151, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- GILL, W.R. & van den BERG, G.E. Soil dynamics in tillage and traction. Washington, USDA, Agricultural Research Service, 1967. 511p. (Handbook, 316)
- GUPTA, S.C.; HADAS, A. & SHAFER, R.L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOOHEES, W.B.; GUPTA, S.C., eds. Mechanical and related process in structured agricultural soils. The Netherlands, Kluwer Academic, 1989. p.137-152.
- HENKLAIN, J. Efeito do preparo sobre as características do solo. In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C. & SAMAHA, M.J., eds. Plantio direto: o caminho para a agricultura sustentável. Ponta Grossa, IAPAR/PRP-9-PG, 1997. p.206-211.
- HENKLAIN, J. & CASÃO JUNIOR, R. Preparo do solo. In: Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Paraná rural. Curitiba, SEAB/SEAB-PR, 1989 p.130-150.
- HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:161-166, 1990.
- HILLEL, D. Introduction to soil physic. San Diego, Academic, 1982. 364p.
- HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. Introduction to geotechnical engineering. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981. 773p.
- HORN, R.; BAUMGARTL, T.; KAYSER, R. & BAASCH, S. Effect of aggregate strength on changes in strength and stress distribution in structured bulk soils. In: HARTGE, K.H. & STEWART, R., eds. Soil structure - its development and function, 1995. p.31-52.
- KEMPER, B. & VIEIRA, M.J. Característica físicas de cinco solos do Paraná, sua relação com a erodibilidade e possibilidade para o melhoramento das condições físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Manaus, 1978. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1978. p.1-20.
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 23:497-506, 1999.
- LAO, R. Deforestation and land use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigéria. Land Degr. Develop., 7:99-119, 1996.

- LEBERT, M. & HORN, R. A method to predic the mechanical strenght of agricultural soils. *Soil Till. Res.*, 19:275-286, 1991.
- MACEDO, V.G.M. Compressibilidade de um Podzólico Vermelho-Escuro fisicamente degradado e recuperado. Porto Alegre, Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, 1993. 88p. (Tese de Mestrado)
- MIRANDA, E.E.V. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Latossolo sob cultivo de cafeeiro na região do cerrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 57p. (Tese de Mestrado)
- PROCTOR, R.R. Fundamental principles of soil compaction. *Eng. News-Record*, 5:286-289, 1933.
- REINERT, D. J. Soil structural form and stability induced by tillage in a typic hapludalf Michigan, Michigan State University, 1990. 129p. (Tese de Doutorado)
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.A.; ALMEIDA, S.P., eds. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1998. 556p.
- RUBIN, R.B.; SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & ZANETE, A. Compressibilidade de dois solos sob plantio direto em função do estado inicial de compactação do solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 6., Brasília, 1998. Resumos. Brasília, Sociedade Brasileira de Plantio Direto na Paha, 1998. p.12-13.
- SCOTT, A.J. & KNOTT, M. Accounter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. *Biometrics*, 30:507-512, 1974.
- SILVA, R.B.; LIMA, J.M.; DIAS JUNIOR, M.S. & SILVA, F.A.M. Alterações de propriedades físicas e hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico pela adsorção de fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:791-798, 2001.
- SILVA, R.B.; LIMA, J.M. & DIAS JUNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:219-226, 1999.
- SILVA, R.B. Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes intensidades de uso na região dos cerrados. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 142p. (Tese de Doutorado)
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. *Statistical methods*. 6.ed. Ames, Iowa State University, 1967. 593p.
- SOANE, B.D. & van OUWERKERK C. *Soil Compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1994. (Development in Agricultural Engineering, 11)
- SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analisys physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.391-399.
- STONE, J.A. & LARSON, W.E. Rebond of five one dimensionally compressed unsaturated granular soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:819-822, 1980.
- TAYLOR, H.M. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I. & VANDENBERG, G.E., eds. *Compaction of agricultural soils*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1948. p.292-305. (Monograph)
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec .Bras.*, 19:873-882,1984.

