

# **AVALIAÇÃO DA COMPRESSIBILIDADE DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO, PREPARO CONVENCIONAL E MATA NATIVA<sup>(1)</sup>**

**Renato Lara de Assis<sup>(2)</sup> & Kléber Pereira Lanças<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

**Os efeitos do tráfego de máquinas nos atributos do solo de acordo com o tempo de adoção do sistema plantio direto são ainda pouco pesquisados em ambientes tropicais, e muitas dúvidas ainda persistem sobre a variação dinâmica da estrutura do solo e a sua interação com máquinas e equipamentos. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto, comparativamente com área de mata nativa e de preparo convencional, usando os modelos de compressibilidade do solo. O estudo foi realizado em um Nitossolo Vermelho distroférico, sob mata nativa (MN), preparo convencional (PC), plantio direto com um ano (PD1), plantio direto com quatro anos (PD4), plantio direto com cinco anos (PD5) e plantio direto com 12 anos (PD12). Amostras indeformadas e deformadas foram coletadas em duas profundidades (0-5 e 10-15 cm). O tempo de adoção do sistema plantio direto alterou o comportamento compressivo dos solos em ambas as profundidades, por meio das mudanças na pressão de preconsolidação. A profundidade de 0-5 cm apresentou menor capacidade de suporte de carga do que a profundidade de 10-15 cm. A profundidade de 0-5 cm, em todos os sistemas de manejo, mostrou-se mais susceptível à compactação em relação à profundidade de 10-15 cm. Os sistemas de plantio direto e convencional apresentaram a capacidade de suporte de carga crescente na seguinte ordem: PD5 < PD12 < PD1 < PD4  $\cong$  PC, para a profundidade de 0-5 cm e para a profundidade de 10-15 cm: MN  $\cong$  PD12 < PC  $\cong$  PD4 < PD5, enquanto o sistema PD1 apresentou comportamento diferenciado.**

**Temos de indexação: time de adoção, pressão de preconsolidação, capacidade de suporte de carga, manejo do solo.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado em Energia na Agricultura, apresentada, pelo primeiro autor, à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Trabalho apresentado no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, 2003. Recebido para publicação em fevereiro de 2004 e aprovado em junho de 2005.

<sup>(2)</sup> Professor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde – FESURV. Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: assis@fesurv.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: kplancas@fca.unesp.br

**SUMMARY:** *EVALUATION OF COMPRESSIBILITY OF A DYSTROFERRIC RED NITOSOL UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEMS AND A NATIVE FOREST*

*The effects of machinery traffic on soil attributes following the adoption of no-till systems in tropical environments are still poorly documented. Numerous questions persist about the dynamic variation of soil structure and its interaction with machinery and equipments. The present study had the objective to evaluate the effect of time of adoption of no-tillage system and compare them to a conventionally tilled soil and a soil under a native forest using soil compressibility models. The evaluated systems were: PD1 (one year of adoption of no-tillage), PD4 (no-tillage for four years), PD5 (no-tillage for five years), PD12 (no-tillage for 12 years), one system under conventional tillage (PC for 18 years) and another without use or intervention (native forest-MN) on a Dystroferric Red Nitosol. The time since adoption of the no-tillage system altered the soil compression performance at both depths (0-5 and 10-15 cm) through changes in the compression index and pre-consolidation pressure. The smallest capacity of load support was observed at the 0-5 cm depth and the highest at the 10-15 cm depth. Soils of all systems proved more susceptible to soil compaction at the 0-5 cm depth than at the 10-15 cm depth. The load support capacity of soils under no-tillage and conventional tillage systems presented the following sequence: PD5 < PD12 < PD1 < PD4  $\cong$  PC for the 0-5 cm depth and MN  $\cong$  PD12 < PC  $\cong$  PD4 < PD5 for the 10-15 cm depth. The PD1 system presented a distinct behavior.*

*Index terms: adoption time, preconsolidation pressure, capacity of load support, soil management.*

## INTRODUÇÃO

Os efeitos dos sistemas de manejo nos atributos do solo: estrutura (Norn et al., 1988), umidade e densidade do solo (Dias Junior, 1994) e teor de matéria orgânica (Stone & Ekwue, 1995), os quais influenciam o comportamento compressivo do solo, são conhecidos, mas pouco estudados em virtude do tempo de adoção do sistema plantio direto.

A umidade é um fator que determina a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo. Em condição de solo seco, sua capacidade de suporte de carga é elevada, podendo ser suficiente para suportar as pressões aplicadas e a compactação do solo pode não ser significativa (Dias Junior, 1994); entretanto, em condições de elevada umidade, o solo fica susceptível à compactação por causa de sua baixa capacidade de suporte de carga.

A pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) tem sido usada como uma estimativa da capacidade de suporte de carga dos solos agrícolas (Dias Junior & Pierce, 1996). A  $\sigma_p$  é obtida a partir das curvas de compressão do solo, pela utilização do método gráfico, proposto por Casagrande (1936), ou da planilha eletrônica, proposta por Dias Junior & Pierce (1995).

A pressão de preconsolidação representa a maior pressão a que o solo foi submetido no passado (Casagrande, 1936), sendo, portanto, um indicativo de sua história de tensão (Dias Junior, 1994). A história de tensão do solo reflete o tipo de manejo ao qual o solo foi submetido (Dias Junior & Pierce, 1996), dependendo do comportamento compressivo

do solo de sua história de tensão e, principalmente, da variação do teor de água do solo (Dias Junior, 1994). Assim sendo, o entendimento do comportamento compressivo do solo utilizando as curvas de compressão adquire uma grande importância em razão de serem elas a base, do ponto de vista físico, para a tomada de decisão do manejo mais adequado, reduzindo os efeitos prejudiciais originados pelo processo de compactação do solo.

Utilizando a região da curva de compressão secundária, conforme Dias Junior & Pierce (1996), o solo deve ser cultivado ou trafegado, sem que ocorra compactação adicional, sendo este o componente da curva de compressão que reflete a história de tensão do solo e que vem sendo usado na modelagem da capacidade de suporte de carga por Dias Junior (1994) e Kondo & Dias Junior (1999). Assim, a maior pressão que deve ser aplicada ao solo para evitar a sua compactação é de preconsolidação (Dias Junior, 1994).

O estudo do processo de compactação do solo no Brasil, com o uso da curva de compressão em sistemas agrícolas, ainda é incipiente, havendo poucas informações nesta área. Macedo (1993) determinou a compressibilidade de um Argissolo Vermelho distrófico em condições de solo degradado (perda da capacidade produtiva) e recuperado (melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas) nas tensões de água entre 25 e 500 kPa, utilizando o ensaio de compressão confinada. Nesse estudo, avaliou a curva de compressão do solo e a resistência à penetração e observou que não ocorreu diferença entre as condições estudadas. Em outro trabalho, Carpenedo

(1994) estudou a compressibilidade de um Argissolo Vermelho distrófico, um Argissolo Vermelho-Amarelo e um Latossolo Vermelho distroférrico, sob diferentes sistemas de manejo e com diferentes graus de compactação, e concluiu que os graus de compactação diferenciaram-se apenas no Argissolo Vermelho distrófico. Já a pressão de preconsolidação foi influenciada pelo manejo no Argissolo Vermelho distrófico e no Argissolo Vermelho-Amarelo, apresentando valores mais altos nas áreas sob sistema plantio direto.

Kondo & Dias Junior (1999), analisando a compressibilidade de solos sob diferentes usos, constataram que solos sob condição de cultura anual são mais susceptíveis à compactação do que aqueles sob mata natural e pastagem, em virtude de sua menor capacidade de suporte de carga para uma mesma faixa de umidade.

Maiores  $\sigma_p$  em áreas sob plantio direto, em comparação ao sistema convencional, foram observadas por diversos autores, dentre os quais, Reinert (1990), Carpenedo (1994), Dias Junior (1994), Silva et al. (2002), Oliveira (2002). Segundo Dias Junior (1994), o fato de o sistema plantio direto suportar níveis de pressões mais elevados constitui uma vantagem em relação à sua trafegabilidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto, comparativamente com área de mata nativa e preparo convencional, usando os modelos de compressibilidade do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em um Nitossolo Vermelho distroférrico relevo ondulado (0 a 4 cm m<sup>-1</sup>) textura muito argilosa, localizado nas áreas de produção e de experimentação da Fazenda Lageado no campus da UNESP-Botucatu (SP), utilizando os sistemas de manejo sob mata nativa (MN), plantio convencional (PC), plantio direto com um ano (PD1), plantio direto com quatro anos (PD4), plantio direto com cinco anos (PD5) e plantio direto com 12 anos (PD12).

A descrição das áreas, tamanho das parcelas, distribuição e forma de amostragem foram descritas em Assis & Lanças (2005).

Para realizar os ensaios de compressibilidade, foram coletadas 540 amostras (seis sistemas de manejo x cinco umidades x duas profundidades x nove repetições), utilizando anéis de aço inoxidável com diâmetro aproximado de 6,9 e 2,5 cm de altura. Estas amostras foram utilizadas para a obtenção dos modelos de sustentabilidade da estrutura dos solos, considerando a obtenção da pressão de preconsolidação e umidade.

As amostras deformadas foram usadas na determinação dos limites de consistência do solo, e as indeformadas, no ensaio de compressibilidade, ambas coletadas nas profundidades de 0–5 e 10–15 cm. Os limites de consistência do solo seguiram métodos de Sowers (1965).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado utilizando-se um consolidômetro pneumático-eletrônico descrito por Castro Neto (2001). As amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial com aplicação de pressões estáticas de 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1.600 kPa, com leituras no defletômetro aos 15; 30; 60; 120 e 240 s. Os ensaios foram realizados segundo método de Dias Junior (1994). Por meio de pré-testes foi encontrado um tempo máximo de 4 min de aplicação de cada carga para que a ocorrência de pelo menos 90 % da deformação máxima fosse alcançada.

As amostras em laboratório foram devidamente preparadas e saturadas por capilaridade, enquanto as umidades gravimétricas foram equilibradas naturalmente em temperatura ambiente. Depois de equilibradas, as amostras foram submetidas aos ensaios de compressibilidade. As amostras foram equilibradas em temperatura ambiente em cinco faixas de umidade por profundidade: 0,03 a 0,07; 0,08 a 0,12; 0,18 a 0,22; 0,28 a 0,32 e de 0,38 a 0,42 kg kg<sup>-1</sup>.

As faixas de umidade foram determinadas com base nos limites de consistência do solo. Na faixa de plasticidade (LL-LP), não é recomendado o tráfego, em virtude da baixa resistência às deformações, enquanto, na faixa de friabilidade (LP-LC), sugere-se como a condição causadora de menores danos à estrutura do solo (Silva, 2002).

Com base nas curvas de compressão, foram obtidas as pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) e, em seguida, plotadas de acordo com a umidade (U), segundo a equação proposta por Dias Junior (1994):

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

em que  $\sigma_p$  = pressão de preconsolidação (kPa); a e b = coeficientes de ajuste da equação de regressão e, U = umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>).

Os dados experimentais foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, incluindo a profundidade de amostragem como subfator. As análises de regressão relativas ao ensaio de compressibilidade foram realizadas segundo o uso do aplicativo Sigma Plot, versão 7.0 da Jandel Scientific, e, para comparações entre as regressões, foi utilizado o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que os valores de “a” da equação de regressão  $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$ , para os diferentes sistemas

de manejo, variaram entre 2,63 e 2,97, enquanto os de "b" entre -0,92 e -2,23 (Quadro 1). Os coeficientes de determinação foram significativos a 1 % e variaram de 0,76 a 0,97.

Analisando as equações de regressão de compressibilidade após linearização, usando o procedimento de Snedecor & Cochran (1989), obtidas para os diferentes manejos, profundidades e tempo de adoção no sistema plantio direto, os sistemas diferenciaram-se estatisticamente, com exceção da mata nativa (Quadro 2), podendo inferir que a pressão de preconsolidação mostrou-se diferente nas profundidades estudadas. Em estudos com diferentes condições de manejo e diferentes tipos de culturas, resultados semelhantes foram encontrados por Dias Junior et al. (1999), Kondo & Dias Junior (1999), Miranda (2001), Oliveira (2002) e Silva (2002).

**Quadro 1. Coeficientes da equação de regressão de compressibilidade,  $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$ , em amostras de Nitossolo Vermelho distroférico nos diferentes sistemas de manejo e tempo de adoção do sistema plantio direto, coletadas nas profundidades de 0-5 e 10-15 cm**

Tratamento	0 a 5 cm			10 a 15 cm		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
MN	2,83	-1,91	0,88**	2,84	-1,76	0,81**
PC	2,63	-0,92	0,79**	2,81	-1,51	0,91**
PD1	2,73	-1,50	0,76**	2,97	-2,19	0,90**
PD4	2,69	-1,08	0,87**	2,84	-1,51	0,84**
PD5	2,72	-2,23	0,86**	2,83	-1,23	0,84**
PD12	2,75	-1,93	0,97**	2,77	-1,66	0,86**

MN: Mata Nativa; PC: Plantio Convencional; PD1: Plantio Direto com um ano; PD4: Plantio Direto com quatro anos; PD5: Plantio Direto com cinco anos; PD12: Plantio Direto com 12 anos.  
\* e \*\* significativos a 5 e 1 %.

**Quadro 2. Comparação das equações de regressão de compressibilidade entre as profundidades de amostragem, após linearização, usando o procedimento de Snedecor & Cochran (1989) para o Nitossolo Vermelho distroférico nos diferentes sistemas de manejo e tempo de adoção do sistema plantio direto**

Profundidade de amostragem	Tratamento					
	MN	PC	PD1	PD4	PD5	PD12
0 a 5 vs 10 a 15 cm	ns	**	**	**	**	*

MN: Mata Nativa; PC: Plantio Convencional; PD1: Plantio Direto com um ano; PD4: Plantio Direto com quatro anos; PD5: Plantio Direto com cinco anos; PD12: Plantio Direto com 12 anos.

\* e \*\* significativos a 5 e 1 % e ns quando não-significativo.

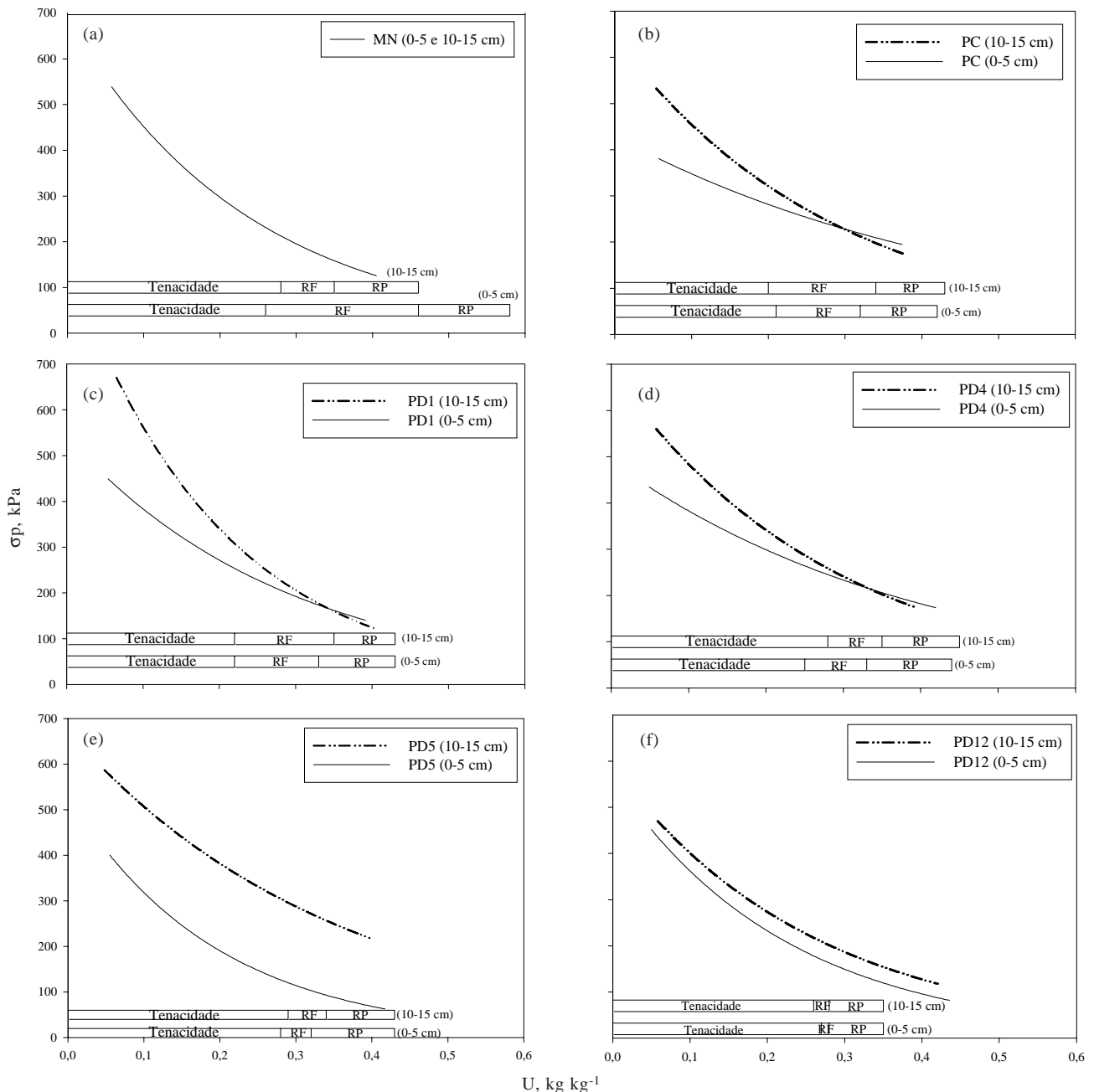
No sistema sob vegetação de MN, utilizado como testemunha, não foi verificada diferença entre as pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) nas duas profundidades avaliadas (Quadro 2). Observa-se (Figura 1a) que os valores de  $\sigma_p$  e de umidade, nas duas profundidades, foram agrupados, resultando em uma nova equação,  $\sigma_{p(MN)} = 10^{(2,84 - 1,82^{**} U)}$  com R<sup>2</sup> de 0,84\*\*. A análise apresentada a seguir leva em consideração a nova equação obtida. Esse resultado decorre do fato de o sistema MN não ter sofrido ação antrópica e tráfego de máquinas, não ocorrendo modificações nos atributos do solo que provocassem diferenciação entre as profundidades. Comportamento semelhante foi constatado por Silva (2002), em estudo em área sob cerrado natural, em comparação com áreas com preparo de solo.

Avaliando o sistema plantio convencional (PC), observou-se que as equações de regressão  $\sigma_p = f(U)$  foram diferentes nas profundidades estudadas (Quadro 2).

Verificou-se que os valores de  $\sigma_p$  da profundidade de 10-15 cm do sistema PC foram maiores do que os valores da profundidade de 0-5 cm, para os teores de água menores do que 0,30 kg kg<sup>-1</sup>, e, a partir dessa umidade, a maior  $\sigma_p$  foi verificada na profundidade de 0-5 cm (Figura 1b). A maior capacidade de suporte de carga na profundidade de 10-15 cm pode estar associada aos maiores valores de densidade do solo e microporos e menores de macroporos, quando comparados aos valores encontrados na profundidade de 0-5 cm (Assis & Lanças, 2005).

Para os sistemas PD1 e PD4, as equações de regressão  $\sigma_p = f(U)$  foram estatisticamente diferentes para as profundidades estudadas (Quadro 2).

Os tratamentos PD1 e PD4 e revelaram comportamento semelhante para ambas as profundidades (Figuras 1c e 1d), com valores de  $\sigma_p$  da profundidade de 10-15 cm maiores do que os valores da profundidade de 0-5 cm, para níveis de umidades menores do que 0,33 kg kg<sup>-1</sup>, em ambos



**Figura 1. Curva de pressão de preconsolidação, considerando a umidade em amostras de um Nitossolo Vermelho distroférico no sistema MN (a), PC (b), PD1 (c), PD4 (d), PD5 (e) e PD12 (f), coletadas nas profundidades de 0-5 e 10-15 cm. RF: região de friabilidade, RP: região de plasticidade.**

os sistemas. Para níveis de umidades maiores do que  $0,33 \text{ kg kg}^{-1}$ , a profundidade de 0-5 cm apresentou maior  $\sigma_p$ . A maior  $\sigma_p$  na profundidade de 10-15 cm, tanto no PD1 quanto no PD4, pode estar associada aos maiores valores de densidade do solo e menores valores de macroporosidade (Assis & Lanças, 2005). Para o PD5, as equações de regressão  $\sigma_p = f(U)$  foram estatisticamente diferentes para as profundidades estudadas (Quadro 2).

Verificou-se que a  $\sigma_p$  para o sistema PD5 (Figura 1e) é maior na profundidade de 10-15 cm em toda faixa de umidade analisada, quando em comparação à profundidade de 0-5 cm. A explicação para esse fato deve-se ao efeito do tráfego acumulado no sistema, promovendo a formação de uma camada compactada abaixo dos 10 cm de profundidade. Na profundidade de 10-15 cm, maiores valores de densidade do solo foram encontrados, confirmando a presença de compactação

(Assis & Lanças, 2005). Os maiores valores de  $\sigma_p$  evidenciam o estado de compactação em que o solo se encontra.

Os resultados mostrados nas figuras 1b a 1f evidenciam que, nos próximos anos, o tráfego de máquinas nestes sistemas seja realizado, levando em consideração a capacidade de suporte de carga da profundidade de 0–5 cm; em caso contrário, certamente a  $\sigma_p$  do solo será superada, resultando na ocorrência de compactação adicional da camada superficial. Para o PD12, as equações de regressão  $\sigma_p = f(U)$  foram estatisticamente diferentes a 5 % para as profundidades estudadas (Quadro 2).

O sistema PD12 (Figura 1f) apresentou maior  $\sigma_p$  em toda faixa de umidade avaliada na profundidade de 10–15 cm. A maior  $\sigma_p$  pode estar associada aos maiores valores de densidade do solo, menores teores de matéria orgânica e macroporosidade e maiores de microporosidade (Assis & Lanças, 2005), quando comparados aos valores encontrados na profundidade de 0–5 cm. Observou-se semelhança de comportamento, bem como menor amplitude entre a capacidade de suporte de carga entre as profundidades. A maior susceptibilidade da profundidade de 0–5 cm pode estar associada a menores valores de densidade do solo nesta profundidade e ao aumento da macroporosidade (Assis & Lanças, 2005).

Observou-se que, em todos os sistemas de manejo (Quadro 3), a  $\sigma_p$  para a profundidade de 0–5 cm foi diferente, exceto o PC com o PD4, mostrando uma mesma capacidade de suporte de carga. Na profundidade de 10–15 cm, a  $\sigma_p$  para todos os sistemas foi diferente, exceto nas áreas de MN e PD12 e entre PC e PD4, que apresentaram a mesma capacidade de suporte de carga. Comprovada a não-significância entre as equações (Quadro 3), juntaram-se então os valores de umidade e de  $\sigma_p$  e uma nova equação foi ajustada. Assim, os valores de  $\sigma_p$  e de umidade nos sistemas PC + PD4 na profundidade de 0–5 cm foram agrupados, resultando em uma nova equação,  $\sigma_{p(PC + PD4)} = 10^{(2,66 - 1,00** U)}$  com  $R^2$  de 0,82\*\* (Figura 2a). A discussão apresentada a seguir leva em consideração as novas equações obtidas. Observa-se que as equações para PC + PD4 (0–5 cm) e MN (0–5 e 10–15 cm) + PD12 (10–15 cm) e entre PC + PD4 (10–15 cm) diferiram das outras equações (Quadro 3), depois de recalculados os valores de F.

Na profundidade de 0–5 cm (Figura 2a), o solo sob MN mostrou maior capacidade de suporte de carga para níveis de umidades menores do que 0,21 kg kg<sup>-1</sup> do que os outros sistemas, em razão dos maiores teores de matéria orgânica encontrados nesta camada. Tal fato aumenta a estabilidade de agregados, pelo aumento nas ligações entre as partículas e agregados do solo, evidenciado pelo maior diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do

**Quadro 3. Comparação das equações de regressão de compressibilidade, após linearização, usando o procedimento de Snedecor & Cochran (1989) para o Nitossolo Vermelho distroférrico nos diferentes sistemas de manejo e tempo de adoção no sistema plantio direto, em amostras coletadas nas profundidades de 0–5 e 10–15 cm**

Tratamento	F
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PC (0–5 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD1 (0–5 cm)	*
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD4 (0–5 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD5 (0–5 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
PC (0–5 cm) vs PD1 (0–5 cm)	**
[PC (0–5 cm) vs PD4 (0–5 cm)]	ns
PC (0–5 cm) vs PD5 (0–5 cm)	**
PC (0–5 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
PD1 (0–5 cm) vs PD4 (0–5 cm)	**
PD1 (0–5 cm) vs PD5 (0–5 cm)	**
PD1 (0–5 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
PD4 (0–5 cm) vs PD5 (0–5 cm)	**
PD4 (0–5 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
PD5 (0–5 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PC (10–15 cm)	**
M-N (0–5 e 10–15 cm) vs PD1 (10–15 cm)	*
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD4 (10–15 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	**
[MN (0–5 e 10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)]	ns
PC (10–15 cm) vs PD1 (10–15 cm)	**
[PC (10–15 cm) vs PD4 (10–15 cm)]	ns
PC (10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	**
PC (10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)	**
PD1 (10–15 cm) vs PD4 (10–15 cm)	**
PD1 (10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	**
PD1 (10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)	**
PD4 (10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	*
PD4 (10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)	**
PD5 (10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)	**
F recalculado para os modelos que não diferiram estatisticamente	
PC (0–5 cm) + PD4 (0–5 cm) vs MN (0–5 e 10–15 cm)	**
PC (0–5 cm) + PD4 (0–5 cm) vs PD1 (0–5 cm)	**
PC (0–5 cm) + PD4 (0–5 cm) vs PD5 (0–5 cm)	**
PC (0–5 cm) + PD4 (0–5 cm) vs PD12 (0–5 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) + PD12 (10–15 cm) vs PC (10–15 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) + PD12 (10–15 cm) vs PD1 (10–15 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) + PD12 (10–15 cm) vs PD4 (10–15 cm)	**
MN (0–5 e 10–15 cm) + PD12 (10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	**
PC (10–15 cm) + PD4 (10–15 cm) vs MN (0–5 e 10–15 cm)	**
PC (10–15 cm) + PD4 (10–15 cm) vs PD1 (10–15 cm)	**
PC (10–15 cm) + PD4 (10–15 cm) vs PD5 (10–15 cm)	**
PC (10–15 cm) + PD4 (10–15 cm) vs PD12 (10–15 cm)	**

\* e \*\*: significativos a 5 e 1 % respectivamente, e ns quando não-significativo.

solo (Assis & Lanças, 2005), o que resulta na preservação da estrutura do solo, proporcionando maior capacidade de suporte de carga e maior resistência à compactação adicional. Em estudo em área de cerrado, Oliveira (2002), avaliando a estabilidade da estrutura por meio da compressibilidade, na profundidade de 0–5 cm, constatou que as áreas de cerrado natural e de plantio direto suportaram mais carga do que o sistema de preparo com arado de disco, para baixos teores de água no solo, dados que concordam com os do presente estudo.

Os sistemas plantio direto e convencional apresentaram a capacidade de suporte de carga crescente na seguinte ordem: PD5 < PD12 < PD1 < PD4 ≅ PC. Isso indica que o tratamento PD5 foi mais susceptível à compactação, enquanto o tratamento PD4 e PC foram os mais resistentes (Figura 2a). A maior capacidade de carga do PD4 e PC em relação ao PD12 justifica-se pela maior densidade do solo e menor macroporosidade e maior microporosidade (Assis & Lanças, 2005). O comportamento observado para o PC revela que os efeitos do revolvimento sobre a densidade do solo foram eliminados pelo tráfego (Tormena et al., 1998).

Observou-se que os valores de  $\sigma_p$  considerando a umidade nos sistemas PC e PD4 e nos sistemas MN e PD12, na profundidade de 10–15 cm, foram agrupados, resultando em novas equações,  $\sigma_{p(PC + PD4)} = 10^{(2,82 - 1,50^{**} U)}$  com  $R^2$  de 0,86\*\* e  $\sigma_{p(MN + PD12)} = 10^{(2,81 - 1,75^{**} U)}$  com  $R^2$  de 0,83\*\* (Figura 2b). A análise leva em consideração as novas equações obtidas.

Os menores valores de  $\sigma_p$  dos tratamentos MN e PD12 decorrem das melhorias na qualidade estrutural do solo pelo aumento do DMG (Assis & Lanças, 2005), tornando o solo mais susceptível à deformação.

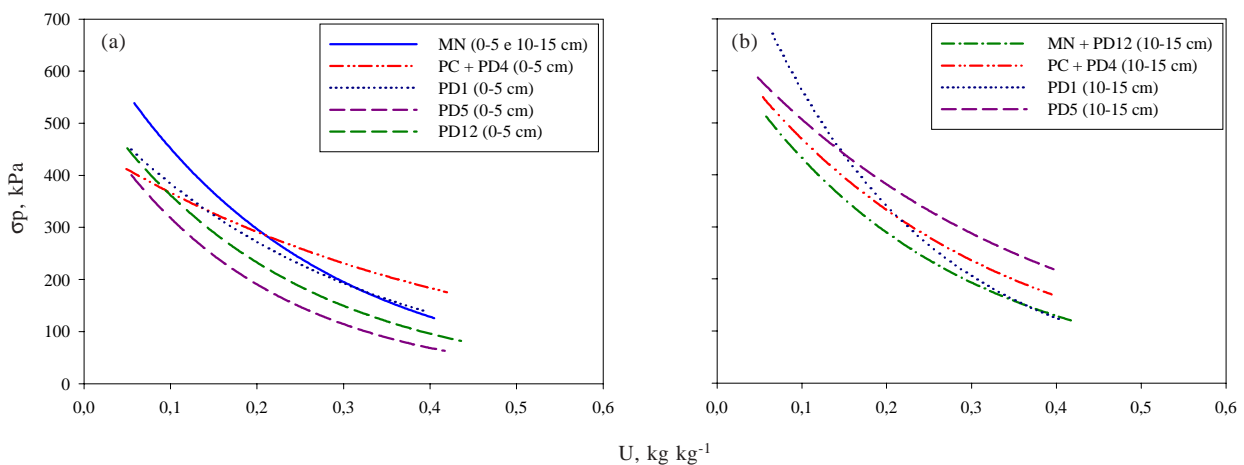
Na profundidade de 10–15 cm (Figura 2b), a capacidade de suporte de carga aumentou na seguinte ordem: MN ≅ PD12 < PC ≅ PD4 < PD5. Já o sistema PD1 apresentou um comportamento diferenciado, em razão, possivelmente, da instabilidade do sistema e das mudanças nos atributos do solo pelo pouco tempo de cultivo no sistema plantio direto, o que pode ser constatado pela elevação do DMG em relação às outras áreas (Assis & Lanças, 2005). Assim, os sistemas MN e PD12 foram os mais susceptíveis à compactação, enquanto o PD5 foi o mais resistente.

Nos primeiros anos sob plantio direto, verificou-se um efeito acumulativo do tráfego até o manejo PD5. Já no PD12, notou-se o efeito da melhoria da qualidade estrutural do solo, anulando o efeito do tráfego, o que pode ser constatado pela menor capacidade de suporte de carga.

### CONCLUSÕES

1. O tempo de adoção do sistema plantio direto alterou o comportamento compressivo dos solos em ambas as profundidades, por meio das mudanças na pressão de preconsolidação. A profundidade de 0–5 cm apresentou menor capacidade de suporte de carga do que a profundidade 10–15 cm. A profundidade de 0–5 cm, em todos os sistemas de manejo, mostrou-se mais susceptível à compactação em relação à profundidade de 10–15 cm.

2. Os sistemas plantio direto e convencional apresentaram a capacidade de suporte de carga crescente na seguinte ordem: PD5 < PD12 < PD1 < PD4 ≅ PC, para a profundidade de 0–5 cm e, para a profundidade de 10–15 cm: MN ≅ PD12 < PC ≅ PD4 < PD5. Já o sistema PD1 apresentou comportamento diferenciado.



**Figura 2. Curva de pressão de preconsolidação, considerando a umidade em amostras de um Nitossolo Vermelho distroférico nos tratamentos em estudo, coletadas nas profundidade de 0–5 cm (a) e 10–15 cm (b).**

## AGRADECIMENTO

À CAPES/PICDT, pela concessão da bolsa durante o curso de Doutorado.

## LITERATURA CITADA

- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:515-522, 2005.
- CARPENEDO, V. Compressibilidade de solos em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 106p. (Tese de Doutorado)
- CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 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 Paulista, 2001. 155p. (Tese de Doutorado)
- DIAS JUNIOR, M.S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)
- DIAS JUNIOR, M.S.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; SILVA, A.R. & FERREIRA, D.F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. *R. Árvore*, 23:371-380, 1999.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technol.*, 8:139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M. S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:1-8, 1996.
- HORN, R.; DOMIZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWIEZ, A. & van OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. *Soil Till. Res.*, 35:23-36, 1988.
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:211-218, 1999.
- MACEDO, V.R.M. Compressibilidade de um Podzólico Vermelho-Escuro fisicamente degradado e recuperado. Porto Alegre, Universidade Federal 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 dos cerrados. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 57p. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, G.C. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 78p. (Tese de Doutorado)
- REINERT, D.J. Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf. West Lafayette, Michigan State University, 1990. 129p. (Tese de Doutorado)
- 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)
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SOARES, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1-8, 2002.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical methods. 8.ed. Ames, Iowa State University Press, 1989. 503p.
- SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis physical and mineralogical properties including statistics of measurements and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.391-399. pt 1.
- STONE, R.J. & EKWUE, E.I. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. *J. Agric. Eng. Res.*, 60:15-24, 1995.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.