

# FATORES CONTROLADORES DA COMPRESSIBILIDADE DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO E DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO. II - GRAU DE SATURAÇÃO EM ÁGUA<sup>(1)</sup>

V. R. SILVA<sup>(2)</sup>, D. J. REINERT<sup>(3)</sup> & J. M. REICHERT<sup>(3)</sup>

## RESUMO

O teor de água no solo constitui fator determinante na capacidade de um solo em resistir à compactação por pisoteio animal ou tráfego de máquinas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do teor de água (saturação dos poros em água) nos valores de pressão de preconsolidação ( $\sigma'_p$ ) e no índice de compressão ( $C_c$ ), para dois solos com texturas contrastantes, em duas profundidades, cultivados sob sistema plantio direto e convencional. Amostras indeformadas (5,35 cm de diâmetro por 2 cm de altura) foram coletadas na camada superficial (0-2 cm) e na camada de 10-12 cm, durante o ano agrícola de 1997/1998, num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (89 g kg<sup>-1</sup> de argila), localizado no município de Santa Maria (RS) (29° 45' latitude sul e 53° 42' longitude oeste) e de um Latossolo Vermelho distrófico típico (467 g kg<sup>-1</sup> de argila), localizado no município de Ibirubá (RS) (28° 30' latitude sul e 53° 30' longitude oeste). Para cada tipo de solo e condição de manejo, amostras indeformadas foram coletadas em diferentes épocas para obter variação natural de grau de saturação e, ainda, algumas amostras foram saturadas e equilibradas em laboratório para obter uma ampla variação de grau de saturação. Para cada solo, sete classes de grau de saturação foram estabelecidas (< 15; 16 a 30; 31 a 45; 46 a 60; 61 a 75; 76 a 90 e 91 a 100%). O ensaio de compressão uniaxial foi realizado com aplicação sucessiva de cargas estáticas de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400 e 800 kPa, durante cinco minutos cada. Os valores de densidade do solo também foram distribuídos em classes, de acordo com a disponibilidade de amostras. Os valores da  $\sigma'_p$  na camada superficial do Argissolo sob plantio direto foram superiores nos graus de saturação até 30% em relação aos demais graus de saturação. Para o Latossolo, na faixa de densidade do solo de 1,30 a 1,45 Mg m<sup>-3</sup>, o aumento do

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Pesquisa executada com recursos do CNPq/FINEP (Projeto PRONEX 60/97). Recebido para publicação em novembro de 2000 e aprovado em julho de 2001.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CCR-SOLOS, Campus, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: silvavr@bol.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mails: dalvan@ccr.ufsm.br; reichert@ccr.ufsm.br

**grau de saturação de 46-60% para 61-75% representou diminuição nos valores da  $\sigma'_p$  de 1,6 vez na condição de plantio direto, nas duas profundidades, e de 2,4 vezes na camada superficial da área com manejo convencional. Os valores de  $\sigma'_p$  diminuíram de forma logarítmica com o aumento do grau de saturação.**

**Termos de indexação: compactação do solo, plantio direto, índice de compressão, pressão de preconsolidação.**

**SUMMARY: FACTORS CONTROLLING COMPRESSIBILITY OF A PALEUDALF AND A HAPLORTOX SOIL. II - DEGREE OF WATER SATURATION**

*Soil water content is one of the determining factors in controlling compaction caused by animal trampling or machinery traffic. The objective of this study was to evaluate the effect of water content (pore water saturation) on preconsolidation pressure ( $\sigma'_p$ ) and compression index (C<sub>v</sub>) values, for two soils with contrasting textures, at two depths, cultivated under no tillage and conventional tillage. Undisturbed soil samples (5.35 cm of diameter for 2 cm of height) were collected in the surface layer (0 to 2 cm) and in the 10 to 12 cm layer from, during the agricultural year of 1997/1998, for a Paleudalf (89 g kg<sup>-1</sup> of clay), located in Santa Maria (RS), Brazil (29° 45' latitude South and 53° 42' longitude West), and a Haplortox (467 g kg<sup>-1</sup> of clay), located in Ibirubá, RS, Brazil (28° 30' latitude South and 53° 30' longitude West). To obtain a wide range of saturation degree for each soil type and management system, undisturbed soil samples were collected at different times to obtain natural variation of saturation degree. Some samples were saturated and equilibrated in the laboratory. For each soil, seven classes of saturation degree were established: < 15; 16 to 30; 31 to 45; 46 to 60; 61 to 75; 76 to 90 and 91 to 100%. The uniaxial compression test was done using successive static loads of 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 and 800 kPa, during five minutes each load. The values of bulk density were also classified in classes, based on sample availability. The values of the  $\sigma'_p$ , for the surface layer of the Paleudalf under no tillage, were greater for saturation degrees up to 30%, compared to the other saturation degrees. For the Haplortox, for the bulk density range from 1.30 to 1.45 Mg m<sup>-3</sup>, the increase in the degree of saturation from 46-60% to 61-75% represented a decrease in  $\sigma'_p$  values of 1.6 times for the no tillage, at the two depths, and of 2.4 times for the surface layer under conventional tillage. The values of  $\sigma'_p$  decreased in a logarithmic way, with the increase of the saturation degree.*

*Index terms: soil compaction, no tillage, compression index, preconsolidation pressure.*

## INTRODUÇÃO

A compactação de solos agrícolas tem sido estudada correlacionando sistemas de cultivo que provocam maiores ou menores impactos sobre o solo, porém poucos estudos abordam o processo de compactação de solos. O solo compacta-se pela ação de forças externas que tendem a deformá-lo, com redução do espaço poroso. Tais forças podem ser oriundas do pisoteio animal ou do tráfego de máquinas sobre o solo (Soane & van Ouwerkerk, 1994). O efeito da compactação no solo, na maioria das vezes, é negativo para a produção de plantas, interferindo na disponibilidade de água e oxigênio, no aumento da densidade do solo e da resistência que o solo oferece à penetração de raízes, levando à redução do crescimento das plantas e à degradação

física do solo (Håkansson & Woorhees, 1997; Camargo & Alleoni, 1997; Pabin et al., 1998).

A curva de compressão do solo representa a redução do índice de vazios de um solo, conforme o aumento da pressão aplicada sobre ele (Holtz & Kovacs, 1981). Essa curva divide-se em duas partes (Holtz & Kovacs, 1981; Kondo & Dias Júnior, 1999b): (a) a curva de recompressão ou compressão secundária, que representa pressões aplicadas ao solo que não provocam compactação adicional, e (b) a reta virgem de compressão, onde a capacidade de suporte de carga do solo é vencida e ocorrem deformações elásticas, não-recuperáveis. O ponto que limita essas duas porções da curva de compressão é chamado de pressão de preconsolidação ( $\sigma'_p$ ), sendo um indicativo da capacidade de suporte do solo e pode ser considerado como um indicador

quantitativo da sustentabilidade estrutural dos solos (Kondo & Dias Junior, 1999a). A inclinação da reta virgem de compressão é chamada de índice de compressão ( $C_c$ ) e demonstra a susceptibilidade do solo à compactação (Larson et al., 1980; Holtz & Kovacs, 1981).

No processo de compactação do solo, a determinação da  $\sigma'_p$  e do  $C_c$  tem grande importância na adequação de máquinas que exerçam menores pressões sobre o solo e, se o valor da  $\sigma'_p$  for vencida, pode-se estimar a compactação adicional (Kondo & Dias Junior, 1999b). Por outro lado, para o sistema radicular das plantas desenvolver-se, é necessário que as raízes vençam a  $\sigma'_p$  do solo (Kondo & Dias Junior, 1999c).

Para três Latossolos, Kondo & Dias Junior (1999a) verificaram que o aumento da umidade do solo provocou o deslocamento da reta virgem de compressão para uma região de menor pressão, indicando um aumento da susceptibilidade do solo à compactação (maior  $C_c$ ), concordando com resultados de Larson et al. (1980).

Reinert (1990), trabalhando em solo siltoso, verificou maior  $\sigma'_p$  no sistema de cultivo plantio direto comparado com o sistema convencional de manejo. Esse efeito pode estar relacionado com os maiores valores de densidade do solo encontrados na condição de plantio direto. Para Kondo & Dias Junior (1999a), o solo cultivado anualmente com culturas anuais apresentou maior  $\sigma'_p$  do que os de pastagem e mata natural, fato que pode ser atribuído à degradação da estrutura do solo pelo cultivo intensivo.

A condição de umidade do solo é fator determinante da capacidade de suporte de carga do solo. Quando seco, o solo é bastante coeso e apresenta grande resistência à compactação, mas, à medida que ele vai umedecendo, ocorre a formação de um pequeno filme de água entre os agregados do solo, facilitando o deslocamento e o rearranjo das partículas sólidas da matriz do solo, diminuindo a resistência do solo à compactação (Hillel, 1980).

Estudos encontrados na literatura mostram que a  $\sigma'_p$  decresce exponencialmente com o aumento do teor de água no solo (Dias Junior, 1994; Kondo & Dias Junior, 1999a; Silva et al., 1999). Todavia, são necessárias maiores investigações sobre a influência do teor de água em outros tipos de solos e sistemas de manejo, principalmente no sistema plantio direto.

Neste estudo, testou-se a hipótese de que a umidade do solo e o tipo de manejo do solo afetam os valores de resistência às deformações plásticas, ou seja, a pressão de preconsolidação e o índice de compressão do solo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi determinar a pressão de preconsolidação e o índice de compressão de dois solos com texturas e manejos contrastantes, em duas profundidades, e avaliar suas relações com o grau de saturação com água para cada solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dois tipos de solos: um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (Paleudalf) e um Latossolo Vermelho distrófico típico (Haplortox), cuja localização, histórico de manejo e resultados de algumas propriedades físicas e carbono orgânico do solo estão descritos em Silva et al. (2002).

As amostras de solo foram coletadas no campo ao acaso, buscando-se variação natural no grau de saturação do solo. Utilizaram-se 260 amostras, coletadas em anéis de 5,36 cm de diâmetro por 2,0 cm de altura, em duas profundidades (0-2 e 10-12 cm), durante os meses de novembro de 1997 e junho de 1998.

Para obter a variação no grau de saturação, foram utilizadas diferentes estratégias: (a) amostragem em diferentes épocas; (b) saturação de algumas amostras em água durante 24 horas e submetidas à sucção em mesa de tensão nos potenciais de -1 e -6 kPa e em câmaras de Richards nos potenciais de -33, -100 e -500 kPa, e (c) colocação de amostras em caixas de papelão com pequenos orifícios para que a redução de umidade ocorresse de maneira lenta e de forma homogênea, obtendo amostras com baixo grau de saturação ( $S_r$ ). Os valores de  $S_r$  dos dois solos foram distribuídos em sete classes (< 15; 16 a 30; 31 a 45; 46 a 60; 61 a 75; 76 a 90 e 91 a 100%). As distintas classes foram definidas "a posteriori", conforme a variação nos valores de  $D_s$  e  $S_r$  e a existência de um número razoável de amostras para cada classe estabelecida.

O ensaio de compressão uniaxial (NBR-12007/90, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990), o cálculo do índice de compressão ( $C_c$ ) e da pressão de preconsolidação ( $\sigma'_p$ ) foram determinados pelo método de Casagrande (Holtz & Kovacs, 1981; NBR-12007/90), podendo maiores detalhes ser encontrados em Silva et al. (2002).

Considerou-se o modelo fatorial com delineamento inteiramente casualizado para comparações de médias entre manejos, profundidades, classes de grau de saturação e tipo de solo, utilizando a Diferença Mínima Significativa (DMS) com  $P \leq 0,05\%$  para identificar médias diferentes entre si, utilizando o pacote estatístico SAS (SAS, 1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na superfície do Argissolo sob plantio direto, os valores da  $\sigma'_p$  foram superiores nos graus de saturação ( $S_r$ ) até 30% em relação aos demais  $S_r$ . As cargas já aplicadas ao solo, que levaram a uma faixa de densidade do solo ( $D_s$ ) entre 1,46 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup> foram suficientemente grandes para manter uma resistência até o início da deformação plástica de 67,9 kPa, mesmo com  $S_r$  próximo a 90% (Quadro 1).

Para o Latossolo, na faixa de  $D_s$  de 1,30 a 1,45  $Mg\ m^{-3}$ , o aumento do  $S_r$  de 46 a 60% para 61 a 75% representou diminuição nos valores da  $\sigma'_p$  de 1,6 vez na condição de plantio direto, nas duas profundidades, e de 2,4 vezes na camada superficial da área com manejo convencional (Quadro 1). Na camada de 10-12 cm, o Argissolo sob plantio direto apresentou um estado de compactação mais elevado ( $D_s$  de 1,61 a 1,75  $Mg\ m^{-3}$ ), sendo necessário um  $S_r$  mais elevado para diminuir a resistência do solo às deformações plásticas, o mesmo ocorrendo para o Latossolo.

No manejo convencional do Argissolo, a degradação da estrutura e a redução da matéria orgânica (Silva et al., 2002) refletiram-se, em geral, em baixos valores da  $\sigma'_p$  na camada superficial. Com  $S_r$  menor que 15%, o Argissolo apresentou o maior valor da  $\sigma'_p$ , chegando a valores em torno de 180 kPa. Contudo, nas demais classes de saturação, os valores de  $\sigma'_p$  foram cerca de sete vezes mais baixos, ficando em torno de 25 kPa. Na figura 1a, para a faixa de maior  $D_s$  (1,68 a 1,72  $Mg\ m^{-3}$ ), a  $\sigma'_p$  decresceu rapidamente até à saturação de 30%. Na menor faixa de  $D_s$  (1,30 a 1,40  $Mg\ m^{-3}$ ), o decréscimo da  $\sigma'_p$  ocorreu de forma mais acentuada e estabilizou-se em torno de 60 kPa a partir da saturação de 40%. Da mesma maneira para o Latossolo, nas faixas de menores  $D_s$ , os pontos foram deslocados para baixo e para a esquerda, indicando menor resistência do que quando o estado de compactação era mais elevado (Figura 1b). De maneira geral, no sistema plantio direto, o Latossolo apresentou maior capacidade de suporte até o início da deformação plástica nos graus de saturação menores que 60%, nas duas profundidades, quando comparado ao Argissolo.

Para isolar o efeito do estado de compactação nas curvas de compressão, utilizou-se a estratégia de normalizar as curvas de compressão, ou seja, dividir os valores de índice de vazios no final de cada estágio de pressão aplicada pelo índice de vazios inicial de cada amostra. Então, as curvas de compressão normalizadas (Figura 2) foram deslocadas para a esquerda e para baixo, conforme o aumento do grau de saturação, concordando com outros autores (Larson et al., 1980; Culley & Larson, 1980; Dias Junior, 1994; Kondo & Dias Junior, 1999a,b). Nas faixas de  $S_r$  de 46 a 60% e de 61 a 75%, esse deslocamento foi mais acentuado, indicando uma susceptibilidade a deformações plásticas nessas faixas de  $S_r$ .

Para um  $S_r$  similar, o Latossolo apresentou maior capacidade de suportar cargas até o início da deformação plástica que o Argissolo. A partir do grau de saturação acima de 60%, o Argissolo, com estado de compactação mais elevado, teve maiores valores de  $\sigma'_p$ . Esse fato pode ser atribuído à granulometria dos solos, pois, no solo argiloso, a resistência mecânica do solo às deformações em condições de menor umidade é conferida pela maior coesão entre as partículas sólidas do que em solo arenoso, resultados que concordam com os de Kondo & Dias Junior (1999a), que encontraram maior resistência a deformações plásticas (maior  $\sigma'_p$ ) quanto maior o teor de argila. No estado de compactação mais elevado, o efeito do  $S_r$  é maior para a  $\sigma'_p$  e menor para o  $C_c$  (Figura 3). Já no menor estado de compactação, o  $S_r$  tem efeito na  $\sigma'_p$  e no  $C_c$ .

Os valores máximos de  $C_c$  ocorreram nos graus de saturação menores que 31% (Quadro 2), na faixa

**Quadro 1. Valores médios de pressão de preconsolidação ( $\sigma'_p$ ) para os dois solos, manejos e profundidade estudados, divididos em faixas de densidade do solo, considerando o grau de saturação**

Solo	Manejo	Profundidade	Grau de saturação (%)						
			< 15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-100
		cm	kPa						
Argissolo	Direto	0-2 <sup>(2)</sup>	160,2 a	136,4 a	72,4 b	69,6 b	70,4 b	67,9 b	-(4)
		10-12 <sup>(3)</sup>	139,0 a	156,0 a	156,2 a	141,2 a	119,3 a	112,1 a	87,0 a
	Convencional	0-2 <sup>(1)</sup>	179,9 a	26,2 b	21,6 b	27,6 b	-	21,7 b	-(4)
		10-12 <sup>(3)</sup>	132,2 a	-	155,7 a	159,9 a	75,3 b	103,5 ab	155,2 a
Latossolo	Direto	0-2 <sup>(1)</sup>	176,8 a	-	159,4 ab	128,7 b	78,2 c	88,6 c	76,6 c
		10-12 <sup>(1)</sup>	86,9 ab	140,4 ab	152,8 a	160,7 a	98,7 ab	76,4 ab	53,9 b
	Convencional	0-2 <sup>(1)</sup>	-	174,3 a	151,8 a	153,4 a	63,5 b	84,9 b	73,6 b
		10-12 <sup>(2)</sup>	-	176,1 a	-	165,6 a	149,3 a	108,2 a	100,8 a

<sup>(1)</sup> Densidade do solo = 1,30 a 1,45  $Mg\ m^{-3}$ . <sup>(2)</sup> Densidade do solo = 1,46 a 1,60  $Mg\ m^{-3}$ . <sup>(3)</sup> Densidade do solo = 1,61 a 1,75  $Mg\ m^{-3}$ .

<sup>(4)</sup> Não determinado. Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Na construção deste quadro, foram utilizados 260 testes de compressibilidade.

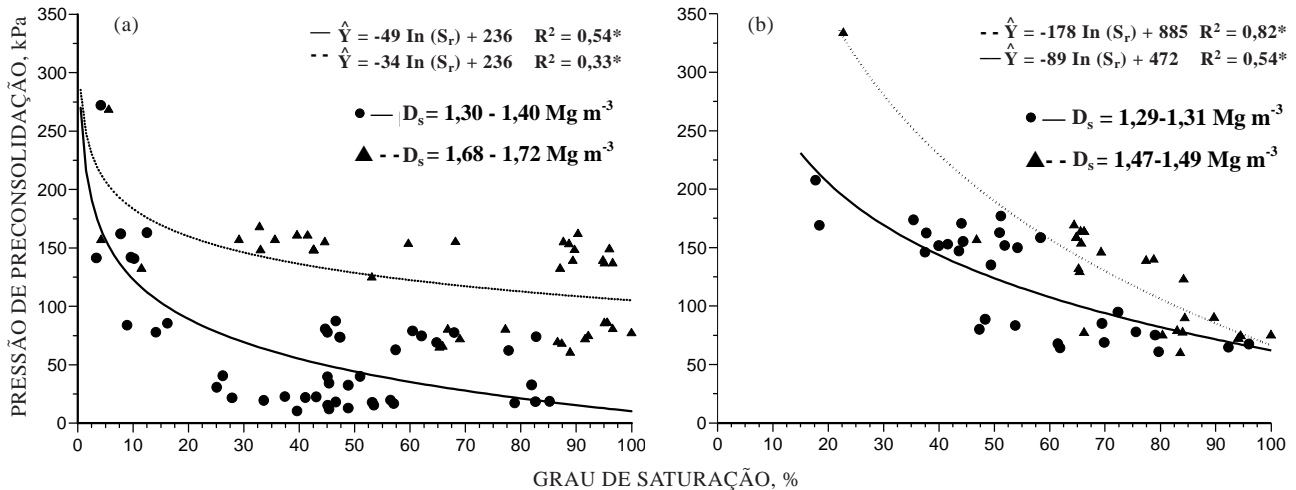


Figura 1. Valores de pressão de preconsolidação (kPa), considerando o grau de saturação (%) para duas faixas de  $\rho_s$ , (a) Argissolo e (b) Latossolo.

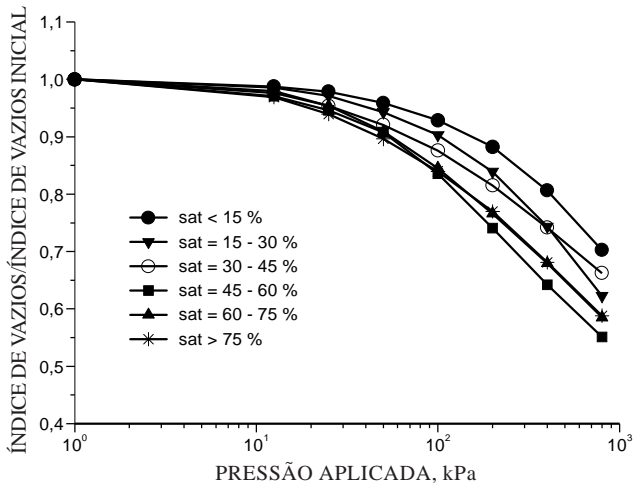


Figura 2. Curva de compressão normalizada do Argissolo, considerando diferentes graus de saturação.

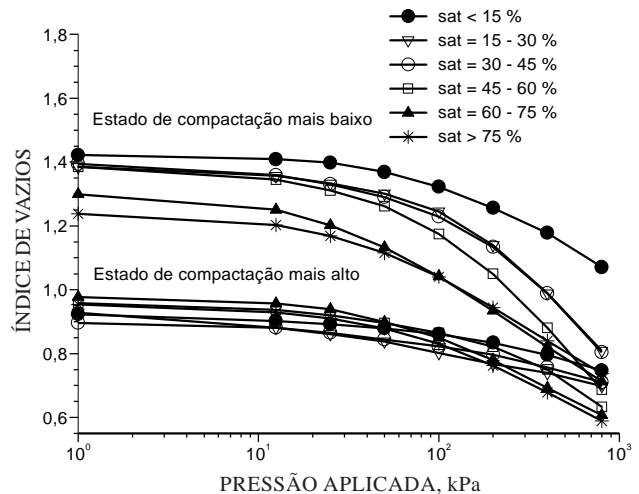


Figura 3. Curvas de compressão do Latossolo para dois estados iniciais de compactação, considerando diferentes graus de saturação.

de  $D_s$  variando de 1,31 a 1,45  $Mg\ m^{-3}$ , para o plantio convencional, e de 1,46 a 1,60  $Mg\ m^{-3}$ , para o plantio direto, no Argissolo. Com o estado de compactação mais elevado,  $D_s$  de 1,61 a 1,75  $Mg\ m^{-3}$ , os maiores valores de  $C_c$  ocorreram em saturações mais elevadas, 46 a 60%, no plantio direto, e 61 a 75%, no plantio convencional. Esse fato deve estar associado ao atrito entre as partículas sólidas do solo que, em estado de compactação mais elevado, é suficientemente grande para limitar o deslocamento e rearranjo dessas partículas, sendo necessárias maiores quantidades de água para facilitar o deslocamento das partículas de solo.

A redução do  $C_c$  máximo (0,37) da camada superficial no Latossolo para o  $C_c$  mínimo (0,17) dessa camada foi de mais de 2 vezes e, para a

profundidade de 10-12 cm, a redução foi cerca de 4,4 vezes menos (0,44 para 0,10), ambas no sistema plantio direto (Quadro 2). Nesse tipo de solo, quando seco, a resistência dada pelos pontos de contato entre os agregados é bastante grande para resistir às deformações. Na medida em que ocorre a formação de uma lâmina de água envolvendo os agregados, esses tornam-se bastante susceptíveis a grandes deformações.

Os valores máximos de  $C_c$  no Latossolo ocorreram em saturações intermediárias, enquanto, no Argissolo, nas menores saturações. Essa diferenciação entre os dois tipos de solos, segundo Larson et al. (1980), pode ser atribuída à granulometria. Os autores encontraram aumento linear do  $C_c$  com o teor de argila de até 330  $g\ kg^{-1}$ , estabilizando a partir desse teor.

**Quadro 2. Valores médios de índice de compressão ( $C_c$ ) para os dois solos, manejos e profundidades estudados, divididos em faixas de densidade do solo, considerando diferentes graus de saturação**

Solo	Manejo	Profundidade	Grau de saturação (%)						
			< 15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-100
cm									
Argissolo	Direto	0-2 <sup>(2)</sup>	0,19 a	0,19 a	0,19 a	0,16 a	0,17 a	0,16 a	-(4)
		10-12 <sup>(3)</sup>	0,09 ab	0,07 b	0,12 a	0,12 a	0,09 ab	0,11 a	0,12 a
	Convencional	0-2 <sup>(1)</sup>	0,30 a	0,30 a	0,27 a	0,26 a	-	0,20 b	-
		10-12 <sup>(3)</sup>	0,08 b	-	0,13 ab	0,11 ab	0,14 a	0,12 ab	0,13 ab
Latossolo	Direto	0-2 <sup>(1)</sup>	0,17 d	-	0,36 ab	0,37 a	0,31 abc	0,28 c	0,29 bc
		10-12 <sup>(1)</sup>	0,10 c	0,12 c	0,44 a	0,39 a	0,31 b	0,27 b	0,25 b
	Convencional	0-2 <sup>(1)</sup>	-(4)	0,19 b	0,23 ab	0,34 a	0,34 a	0,31 ab	0,26 ab
		10-12 <sup>(2)</sup>	-	0,10 b	-	0,18 a	0,26 a	0,23 a	0,22 a

<sup>(1)</sup> Densidade do solo = 1,30 a 1,45 Mg m<sup>-3</sup>. <sup>(2)</sup> Densidade do solo = 1,46 a 1,60 Mg m<sup>-3</sup>. <sup>(3)</sup> Densidade do solo = 1,61 a 1,75 Mg m<sup>-3</sup>.

<sup>(4)</sup> Não determinado. Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste DMS a 5%. Na construção deste quadro, foram utilizados 260 testes de compressibilidade.

Assim, o aumento do teor de água, expresso pelo grau de saturação, deveu-se aos menores valores de  $\sigma'_p$ , ocasionando deformações plásticas com pequenas pressões aplicadas no solo. No plantio direto, os valores de  $D_s$  foram normalmente maiores do que no preparo convencional, razão por que a compressão do solo não foi tão intensa quanto no preparo convencional. Entretanto, cuidado deve ser tomado para evitar o tráfego excessivo sobre o solo úmido, especialmente em solos argilosos.

## CONCLUSÕES

1. O índice de compressão mostrou-se reduzido com o aumento da densidade do solo e foi menos influenciado pelo grau de saturação.

2. A maior susceptibilidade do solo à compressão para o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico ocorreu em menor grau de saturação do que em Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa.

3. O Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa apresentou maior capacidade de suportar cargas (maior pressão de preconsolidação) ou foi mais resistente até o início da deformação plástica do que o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, porém foi mais susceptível (maior índice de compressão) à compactação ou à deformação plástica.

## LITERATURA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Ensaio de adensamento unidimensional. NBR-12007. Rio de Janeiro, 1990. 13p.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Edição dos Autores, 1997. 133p.

CULLEY, J.L.B. & LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a Clay Loam Haplaquoll. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:562-567, 1980.

DIAS JUNIOR, M.S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. Michigan, East Lansing State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)

HÅKANSSON, I. & VOORHEES, W.B. Chapter on soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C. & STEWART, B.A., eds. Methods for assessment of soil degradation. Boca Raton, Lewis Publishers, 1997. 576p.

HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. Amherst, University of Massachusetts. Academic Press, 1980. 413p.

HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey, Prentice-Hall, 1981. 733p.

KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. R. Bras. Ci. Solo, 23:211-218, 1999a.

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, 1999b.

KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Estimativa do Efeito do uso e da umidade do solo sobre a compactação adicional de três latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 23:773-782, 1999c.

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:450-457, 1980.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WLODEK, S.; BISKUSPSKI, A. & KAUS, A. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. Soil Till. Res., 46:203-208, 1998.

- REINERT, D.J. Soil structural form and stability induced by tillage in a typic hapludalf. Michigan, Michigan State University. 1990. 128p. (Tese de Doutorado)
- SAS INSTITUTE. SAS User's guide: statistics. 5.ed. Cary, N.C., 1985. 956p.
- 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, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade dos solos Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e Latossolo Vermelho distrófico típico. I - Estado inicial de compactação. R. Bras. Ci. Solo, 26:1-8, 2002.
- SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.1-21.

