



## Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo

Sérgio R. Silva<sup>1</sup>, Nairam F. Barros<sup>2</sup> & Liovando M. Costa<sup>2</sup>

### RESUMO

Um experimento foi realizado para avaliar os efeitos da compactação sobre os atributos físicos de dois solos: um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) oxidico-gibbsítico, e um Latossolo Amarelo (LA) caulinitico. O ensaio consistiu de oito pressões de compactação (0, 60, 120, 240, 360, 540, 720 e 900 kPa). Cada unidade experimental se compunha de anel de PVC com 6 cm de altura e 4,55 cm de diâmetro interno, na qual foram avaliadas: condutividade hidráulica, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração e agregados estáveis em água. A retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa, foi avaliada em amostras de solos compactados em anéis de PVC com 1,9 cm de altura e 4,55 cm de diâmetro interno. O solo caulinitico foi mais sensível à compactação que o solo oxidico-gibbsítico. O incremento da microporosidade com a compactação aumentou a retenção de água no solo, nas tensões de 0,01 e 1,5 MPa; no entanto, este aumento não se expressou em termos de conteúdo de água disponível no solo. A condutividade hidráulica e a resistência à penetração foram as propriedades do solo mais sensíveis aos efeitos da compactação.

**Palavras-chave:** condutividade hidráulica, porosidade do solo, resistência à penetração, retenção de água no solo

## Physical attributes of two Oxisols affected by soil compaction

### ABSTRACT

An experiment was carried out in order to evaluate the effects of soil compaction on the physical characteristics of two soils: a oxidic-gibbsitic Red Yellow Oxisol (LVA) and a caulinitic Yellow Oxisol (LA). The experiment consisted of eight levels of pressure applied to compact the soil (0, 60, 120, 240, 360, 540, 720 e 900 kPa). The experimental unit was composed of a PVC pipe with 6 cm in height and 4.55 cm of internal diameter to evaluate: hydraulic conductivity, microporosity, macroporosity, total porosity, soil penetration resistance and water-stable aggregates. Soil water retention at 0.01 and 1.5 MPa was evaluated using the samples compacted in the PVC pipe with 1.9 cm in height and 4.55 cm of internal diameter. The caulinitic soil was more sensitive to soil compaction than the to oxidic-gibbsitic soil. The increase of microporosity with soil compaction increased the soil water retention at 0.01 and 1.5 MPa, however it did not affect available water holding capacity. The properties of soil which have higher sensibility to effects of soil compaction were hydraulic conductivity and penetration resistance.

**Key words:** hydraulic conductivity, soil porosity, penetration resistance, soil water retention

## INTRODUÇÃO

Compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução do seu volume. Esta operação resulta na expulsão de ar dos poros, causando um rearranjo das partículas, tornando o solo mais denso e consequente redução da porosidade (Curi et al., 1993; Dias Júnior & Pierce, 1996). A elevação da densidade do solo prejudica o desenvolvimento das plantas, ocasiona aumento da resistência mecânica à penetração de raízes, altera a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases, levando ao acúmulo de CO<sub>2</sub> e de fitotoxinas (Marschner, 1995; Nadian et al., 1996; Borges et al., 1997; Mapfumo et al., 1998; Ishaq et al., 2001).

As propriedades físicas do solo, que passam por inúmeras mudanças provocadas pela compactação, indicam a sensibilidade do solo aos impactos de técnicas de manejo e fornecem informação sobre a sua capacidade em manter determinada função, como reter e disponibilizar água e nutrientes às plantas (McQueen & Shepherd, 2002); assim, avaliações como: agregados estáveis em água (Silva et al., 2000; Beutler et al., 2001), densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo (Marsili et al., 1998; Ishaq et al., 2001; McQueen & Shepherd, 2002), têm sido utilizadas como indicadores físicos da qualidade do solo, viabilizando estratégias para avaliar alterações de suas propriedades.

A redução da infiltração de água no solo, decorrente da compactação da camada superficial, pode resultar em aumento do escoamento superficial e erosão (Kayombo & Lal, 1994). O aumento da resistência do solo à penetração pode ser restritivo ao crescimento radicular, quando acima de valores, que variam de 1,5 a 4,0 MPa (Oussible et al., 1992; Grant & Lafond, 1993; Arshad et al., 1996).

Os objetivos do trabalho foram avaliar os efeitos da compactação sobre propriedades físicas de dois Latossolos com mineralogias distintas e definir as características físicas do solo, que apresentam maior sensibilidade para avaliação desses efeitos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois solos com mineralogia distinta, um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) oxidico-gibbsítico do município de Santa Maria de Itabira, MG (19° 23' 58" S e 42° 54' 12" W) e um Latossolo Amarelo (LA) caulinitico de Santana do Paraíso, MG (19° 22' 58" S e 42° 28' 56" W). Amostras dos solos foram coletadas em fevereiro de 2003 em povoamentos de eucalipto, na profundidade de 0-15 cm, postas para secar ao ar, passadas em peneira de 4 mm de malha e homogêneas, para posterior análises química e física (Tabela 1).

Dois ensaios foram desenvolvidos, um para cada solo, cada qual consistindo de oito tratamentos, correspondendo a oito pressões de compactação: 0, 60, 120, 240, 360, 540, 720 e 900 kPa. Os tratamentos, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais para cada solo, foram dispostos em

**Tabela 1.** Caracterização do solo Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA) utilizados no

Característica	LVA	LA
COT (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,76	2,20
N-total (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	0,15	0,13
Equivalente de umidade (kg kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,2
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	1,05	1,10
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	470	510
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	90	40
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	440	450
Classe textural	Argila	Argila
SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	71,29	135,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	172,93	139,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	60,64	44,64

<sup>1</sup> Carbono orgânico total (Yeomans & Bremner, 1988)

<sup>2</sup> Nitrogênio total (Bremner & Mulvaney, 1982)

<sup>3</sup> Elementos no extrato do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997)

delineamento de blocos casualizados. Cada unidade experimental se compunha de anel de PVC com 6 cm de altura e 4,55 cm de diâmetro interno, com volume de 97,6 cm<sup>3</sup>.

Calculou-se a massa de cada solo para ocupar o volume de 97,6 cm<sup>3</sup> e atingir as densidades de 1,05 e 1,10 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, nos LVA e LA, a seguir, as amostras de solo foram umedecidas (0,20 kg kg<sup>-1</sup> = 100% do equivalente de umidade), acondicionadas nos vasos e compactadas utilizando-se uma prensa CBR equipada com anel dinamométrico; depois foi calculada a densidade do solo resultante da compactação, por meio do novo volume ocupado.

Para a avaliação da condutividade hidráulica, os tubos de PVC foram adaptados como permeômetros de carga constante, sendo a condutividade hidráulica obtida pela aplicação da equação de Darcy, após os valores de fluxo atingirem a estabilidade (EMBRAPA, 1997). Nessas amostras foi mensurada a microporosidade pelo método da mesa de tensão e calculadas a porosidade total e a macroporosidade (EMBRAPA, 1997). Após equilíbrio da umidade do solo a 0,006 MPa na mesa de tensão, mediu-se, a resistência do solo à penetração utilizando-se um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração de 2 cm min<sup>-1</sup> e um cone com diâmetro de base de 4 mm e semi-ângulo de 30°. Este penetrômetro estava equipado com um atuador linear e célula de carga de 20 kg acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados. No centro geométrico de cada amostra, na profundidade de 5 a 55 mm, uma leitura de resistência foi obtida a cada 0,31 mm, perfazendo o total de 160 leituras, as quais foram utilizadas para calcular a média da resistência do solo à penetração de cada amostra.

O procedimento de compactação do solo, já descrito, foi realizado novamente para posterior análise de agregados estáveis em água (EMBRAPA, 1997) e obtenção do diâmetro médio geométrico, segundo Kemper & Rosenau (1986).

A retenção de água no solo às tensões de 0,01 e 1,5 MPa de tensão, foi avaliada utilizando-se anel de PVC com 1,9 cm de altura, 4,55 cm de diâmetro interno e volume útil de 30,9 cm<sup>3</sup>. Realizou-se a compactação do solo de modo idêntico ao

descrito antes; no entanto, com 6 blocos (repetições). A seguir, as amostras de solo (individualmente por bloco com todos os tratamentos) foram saturadas e transferidas para o aparelho extrator de Richards, onde foram submetidas sucessivamente às tensões de 0,01 e 1,5 MPa até atingirem a drenagem máxima (EMBRAPA, 1997). A água disponível no solo (ADS) foi obtida pela diferença entre a água retida a 0,01 e 1,5 MPa.

Os resultados foram submetidos, individualmente para cada solo, a análise de variância, de correlação e de regressão. Para a escolha dos modelos de regressão, os coeficientes foram testados pelo teste F, com base no quadrado médio do resíduo da ANOVA do experimento. Finalmente, para dois ou mais modelos com coeficientes significativos, a seleção foi feita com base no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu aumento da densidade do solo ( $D_s$ ) em resposta às pressões de compactação (Figura 1). O aumento foi de 27 e 37% com maior pressão (900 kPa), respectivamente, no LVA e LA. O menor aumento  $D_s$  no LVA pode ser devido à sua mineralogia, pois os óxidos de Fe e Al, predominantes em sua composição, se associam às argilas silicatadas, formando agregados pequenos e extremamente estáveis com maior resistência à deformação, quando sujeitos a pressão. Por sua vez, no LA a caulinita se modela e/ou se deforma mais facilmente que os óxidos, facilitando o adensamento do solo.

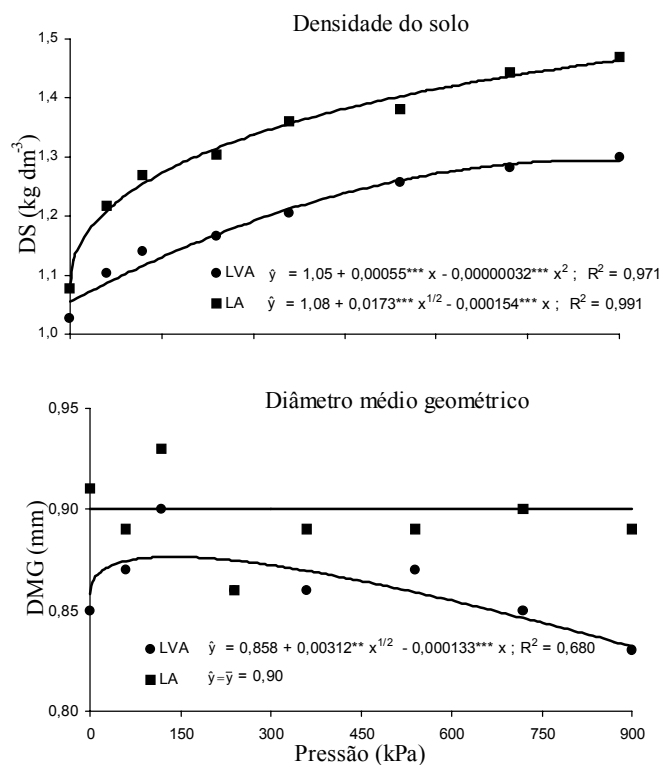


Figura 1. Densidade e diâmetro médio geométrico dos agregados de dois Latossolos compactados com diferentes pressões

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados no LVA aumentou com a compactação do solo em níveis intermediários de pressão, decrescendo a seguir para maiores pressões (Figura 1). O aumento atingiu 6% no LVA (pressão = 120 kPa). Pode-se atribuir este resultado à provável agregação mecânica do LVA por efeito da pressão exercida pela compactação, levando à junção de partículas sob alta umidade no solo. O DMG não revelou ser bom indicador dos efeitos da compactação para ambos os solos, principalmente para o LA.

A compactação acarretou decréscimo da porosidade total de 17 e 23%, refletindo em redução da macroporosidade de 53 e 67%, e aumento da microporosidade de 35 e 32%, respectivamente, nos LVA e LA, na pressão de 900 kPa (Figura 2). Constatou-se que a macroporosidade apresentou correlação significativa ( $p < 0,001$ ) e negativa com a densidade e a microporosidade ( $r = -0,96$  no LVA e  $r = -0,99$  no LA), ou seja, a compactação proporcionou modificação do sistema poroso, transformando ambientes de macroporos em microporos.

A tendência dos dados foi semelhante à observada por Marsili et al. (1998) que verificaram decréscimo da macroporosidade na camada superficial (0-10 cm) depois de uma passada de dois tratores, cujo efeito foi intensificado por 4 passadas das máquinas. Wagger & Denton (1989) observaram que a porosidade total na área de solo trafegado foi 21% menor que no local não trafegado.

A compactação proporcionou aumento da retenção de água pelo solo a 0,01 e 1,5 MPa de tensão, tanto em base volumétrica ( $\theta_{\text{vol}}$ ) como gravimétrica ( $\theta_{\text{grav}}$ ) (exceção para 0,01 MPa em base gravimétrica no LA) (Figura 2). O aumento da  $\theta_{\text{vol}}$  atingiu 38 e 43% a 0,01 MPa, e 51 e 65% a 1,5 MPa, respectivamente, nos LVA e LA (pressão = 900 kPa). A  $\theta_{\text{grav}}$  a 0,01 MPa aumentou 7% no LVA (pressão = 540 kPa) e decresceu 8% no LA (pressão = 720 kPa), sendo que a 1,5 MPa ocorreu aumento de 11% da  $\theta_{\text{grav}}$  nos dois solos, por efeito da maior compactação (900 kPa). O aumento da retenção de água na tensão de 1,5 MPa foi maior, indicando que a modificação do sistema poroso pela compactação beneficiou especialmente a formação de poros capilares menores, onde a água é retida com mais energia.

A microporosidade apresentou correlação significativa ( $p < 0,001$ ) e positiva com a  $\theta_{\text{vol}}$  a 0,01 MPa ( $r = 0,75$  no LVA; e  $r = 0,87$  no LA) e 1,5 MPa ( $r = 0,76$  no LVA; e  $r = 0,92$  no LA), e também com a  $\theta_{\text{grav}}$  ( $p < 0,005$ ) a 1,5 MPa ( $r = 0,41$  no LVA;  $r = 0,40$  no LA). O aumento da microporosidade com a compactação (Figura 2) promoveu incremento da retenção de água no solo nas tensões de 0,01 e 1,5 MPa, tanto em base volumétrica como em base gravimétrica, ou seja, foi notório o aumento do volume de microporos (mais água armazenada por unidade de volume de solo) e da força de retenção (mais água armazenada por unidade de massa de solo).

O aumento da retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa não resultou em maior disponibilidade de água às plantas, pois não houve diferença no conteúdo de água disponível no solo (ADS) por efeito da compactação, exceção para  $\theta_{\text{grav}}$  no LA, cuja redução da ADS foi de 48%, após uma compactação de 900 kPa (Figura 2). Esses resultados não corroboram com a afirmação de Greacen & Sands (1980), de que o maior conteúdo

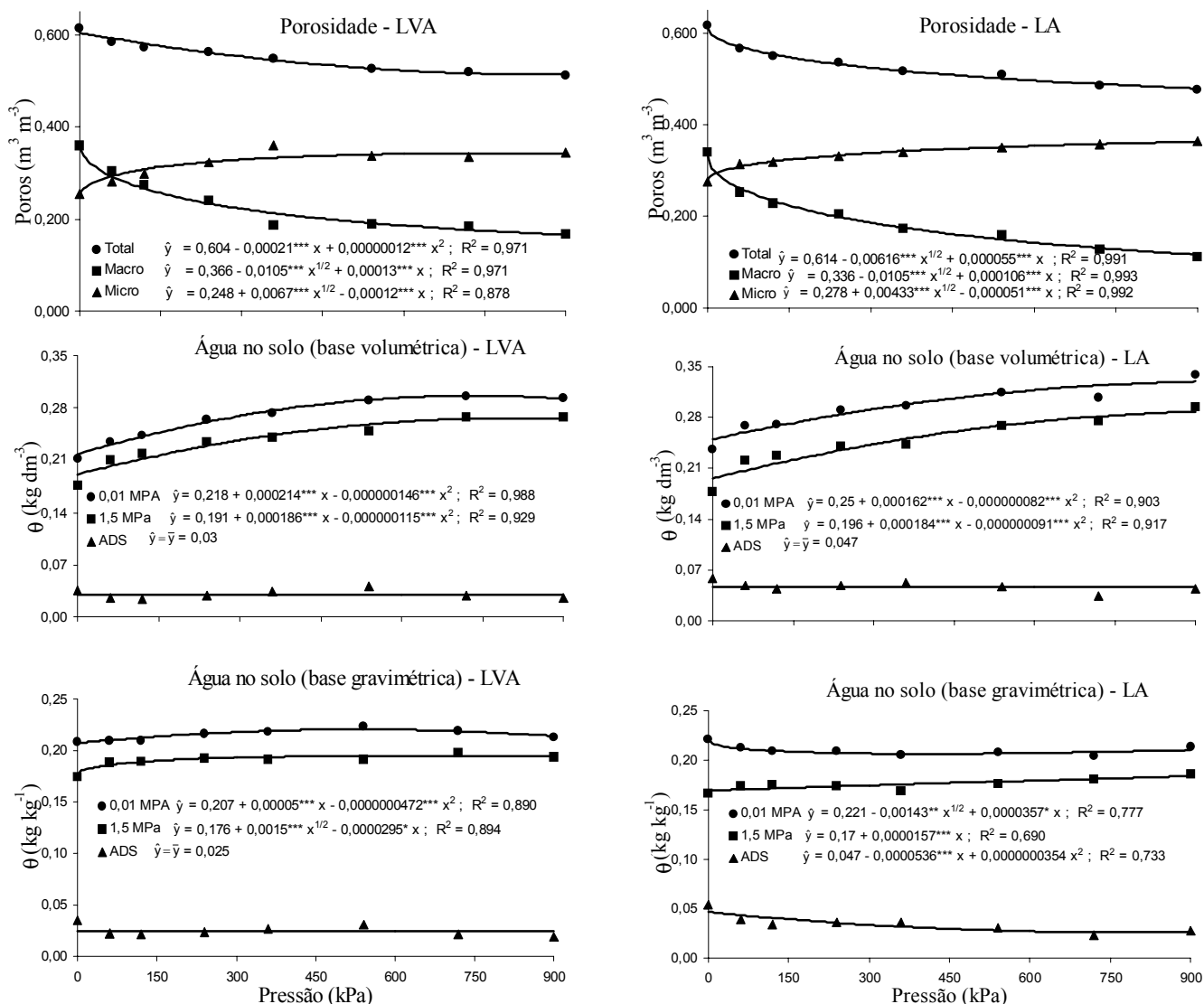


Figura 2. Porosidade, retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa e água disponível no solo (ADS) de dois Latossolos compactados com diferentes pressões

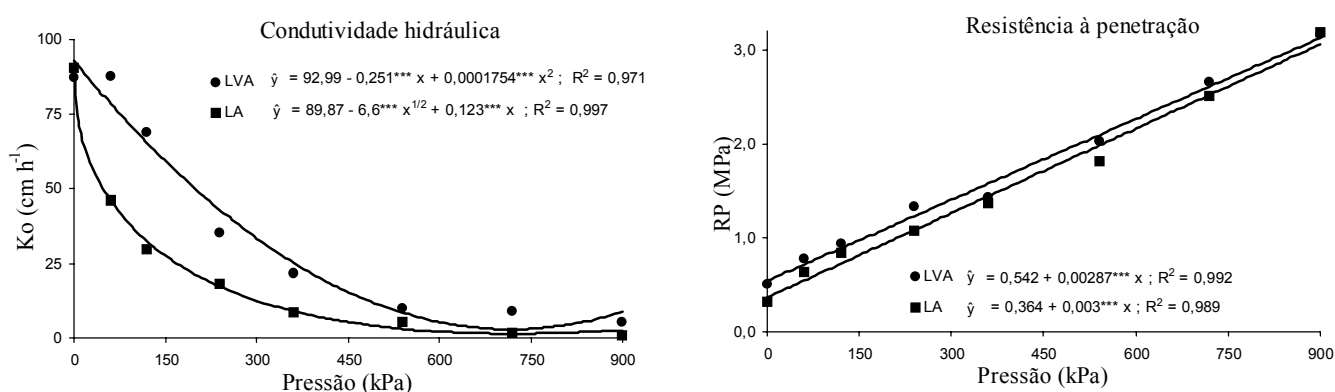


Figura 3. Condutividade hidráulica e resistência à penetração de dois Latossolos compactados com diferentes pressões

do volumétrico de água na capacidade de campo (0,01 MPa), em solo compactado, aumenta o volume de água por unidade de volume de solo que é disponível para as raízes das plantas.

A condutividade hidráulica ( $K_0$ ) decresceu em resposta à compactação do solo (Figura 3). A redução da  $K_0$ , em rela-

ção à testemunha não compactada, atingiu 94 e 99%, respectivamente, nos LVA e LA, enquanto a  $K_0$  apresentou correlação significativa ( $p < 0,001$ ) e negativa com a densidade ( $r = -0,80$  no LVA; e  $r = -0,86$  no LA) e com a resistência à penetração ( $r = -0,74$  no LVA; e  $r = -0,69$  no LA) e positiva



com a macroporosidade ( $r = 0,81$  no LVA; e  $r = 0,87$  no LA).

Nas pressões mais baixas (60 a 360 kPa) a  $K_0$  decresceu mais no LA, o que pode ser atribuído à mineralogia deste solo, pois a caulinita se modela e/ou deforma mais facilmente que os óxidos, quando sujeita a pressão, facilitando a formação de selamento do solo e conseqüente redução da  $K_0$ . Por sua vez, o LVA possui predomínio de óxidos de Fe e de Al, apresentando agregados pequenos e extremamente estáveis devido à associação desses óxidos com argilas silicatadas; isto confere, ao LVA, maior resistência à deformação, quando sujeito a pressão, o que explica a menor redução da  $K_0$  em relação ao LA quando submetido a pressões de 60 a 360 kPa; mas pressões superiores a 540 kPa foram altas o suficiente para igualar o grau de deformação desses solos e também a redução da  $K_0$ .

A redução da condutividade hidráulica deve estar relacionada à reorganização do sistema poroso, ou seja, da distribuição do tamanho, alongação e continuidade vertical dos poros, ocasionada pela compactação do solo, como observado por Marsili et al. (1998). Segundo Silva et al. (1986) a redução da  $K_0$  é atribuída ao decréscimo da macroporosidade com o aumento da densidade, uma vez que o movimento de água no solo está diretamente relacionado com a porosidade de drenagem. Dependendo do tipo de solo, um pequeno aumento da densidade, causado pela compactação, pode diminuir a taxa de infiltração em até 80% (Oliveira et al., 1998).

A condutividade hidráulica de um solo é um atributo de expressiva importância à dinâmica e ao armazenamento de água no solo. Solos com baixa  $K_0$  são mais vulneráveis à erosão, devido à maior quantidade de água que permanece na superfície do solo e, conseqüentemente, maior escoamento superficial (Cerdà, 1996).

A resistência do solo a penetração (RP) aumentou linearmente com a compactação (Figura 3). O aumento da RP foi de 6,3 e 10,3 vezes, respectivamente, nos LVA e LA, nos solos compactados com maior pressão (900 kPa). Os valores máximos de resistência a penetração foram de 3,16 e 3,19 MPa, respectivamente, nos LVA e LA. A compactação, como evidenciada pelo aumento da resistência a penetração, reduz a penetrabilidade de raízes no solo (Unger & Kaspar, 1994). É oportuno destacar que qualquer resistência a penetração superior a 2 MPa pode reduzir o crescimento e o desenvolvimento radicular (Oussible et al., 1992; Martino & Shaykewich, 1994; Ishaq et al., 2001). Desta forma estima-se, no presente estudo, que a pressão de compactação limite (para não prejudicar o crescimento de raízes) é 540 kPa, na qual a RP foi 2,02 e 1,81 MPa, respectivamente, nos LVA e LA.

Constatou-se que a resistência a penetração apresentou correlação significativa ( $p < 0,001$ ) e positiva com a densidade ( $r = 0,91$  e  $0,90$ ) e com a microporosidade ( $r = 0,68$  e  $0,87$ ); e negativa com a porosidade total ( $r = -0,91$  e  $-0,90$ ), com a macroporosidade ( $r = -0,83$  e  $-0,89$ ) e com a  $K_0$  ( $r = -0,74$  e  $-0,69$ , respectivamente, nos LVA e LA). Esses resultados estão de acordo com os dados encontrados por Pagliai et al. (1992) e Marsili et al. (1998) que, em experimentos de compactação do solo pelo trânsito de máquinas, também obtiveram boa correlação negativa entre resistência a penetração e macroporosidade do solo. Estão coerentes também com Beu-

ter et al. (2001) que encontraram correlação significativa ( $p < 0,05$ ) e negativa entre resistência a penetração e  $K_0$  ( $r = -0,98$ ).

## CONCLUSÕES

1. Solos cauliniticos são mais sensíveis à compactação que os oxidico-gibbsiticos.
2. O incremento da microporosidade com a compactação aumentou a retenção de água no solo, mas este aumento não se expressou em termos de conteúdo de água disponível no solo (ADS), exceção para  $\theta_{gray}$  no LA, em que a redução da ADS foi de 48%, após uma compactação de 900 kPa.
3. A condutividade hidráulica e a resistência a penetração foram as propriedades mais sensíveis aos efeitos da compactação.

## LITERATURA CITADA

- Arshad, M.A.; Lowery, B.; Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141 (SSSA Special publication 49)
- Beutler, A.N.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Pereira Filho, I.A.; Cruz, J.C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, 2001.
- Borges, E.N.; Lombardi Neto, F.; Corrêa, G.F.; Costa, L.M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.21, n.1, p.125-130, 1997.
- Bremner, J.M.; Mulvaney, C.S. Nitrogen - Total. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (ed.). Methods of soil analysis, 2.ed. Part 2. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p.595-624.
- Cerdà, A. Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain. Geoderma, Amsterdam, v.69, n.2, p.217-232, 1996.
- Curi, N.; Larach, J.O.I.; Kämpf, N.; Moniz, A.C.; Fontes, L.E.F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.
- Dias Júnior, M.S.; Pierce, F.J. O processo de compactação do solo e a sua modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.20, n.2, p.175-182, 1996.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Produção de informação, 1997. 212p.
- Grant, C.A.; Lafond, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v.73, n.2, p.223-232, 1993.
- Greacen, E.L.; Sands, R. Compaction of forest soil, a review. Australian Journal of Soil Research, Sydney, v.17, n.1, p.163-189, 1980.

- Ishaq, M.; Ibrahim, M.; Hassan, A.; Saeed, M.; Lal, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.60, n.1, p.153-161, 2001.
- Kayombo, B.; Lal, R. Responses of tropical crops to soil compaction. In: Soane, B.D.; van Ouwerkerk, C. (ed.). *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.287-316.
- Kemper, W.D.; Rosenau, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*, 2. ed. Part 1 - Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1986. p.425-442.
- Mapfumo, E.; Chanasyk, D.S.; Naeth, M.A.; Baron, V.S. Forage growth and yield components as influenced by subsurface compaction. *Agronomy Journal*, Madison, v.90, n.4, p.805-812, 1998.
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- Marsili, A.; Servadio, P.; Pagliai, M.; Vignozzi, N. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.49, n.2, p.185-199, 1998.
- Martino, D.L.; Shaykewich, C.F. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.74, n.2, p.193-200, 1994.
- McQueen, D.J.; Shepherd, T.G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endo-aquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.63, n.1, p.93-107, 2002.
- Nadian, H.; Smith, S.E.; Alston, A.M.; Murray, R.S. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.182, n.1, p.39-49, 1996.
- Oliveira, C.V.; Bahia, V.G.; Paula, M.B. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.191, n.1, p.46-48, 1998.
- Oussible, M.; Crookston, P.K.; Larson, W.E. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v.84, n.1, p.34-38, 1992.
- Pagliai, M.; Febo, P.; La Marca, M.; Lucamonte, G. Effetti del compattamento provocato da differenti tipi di pneumatici su porosità e struttura del terreno. *Rivista di Ingegneria Agraria*, Bologna, v.3, n.1, p.168-176, 1992.
- Silva, A.P.; Libardi, P.L.; Camargo, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.10, n.1, p.91-95, 1986.
- Silva, M.L.N.; Curi, N.; Blancaneaux, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.
- Unger, P.W.; Kaspar, T.C. Soil compaction and root growth: a review. *Agronomy Journal*, Madison, v.86, n.4, p.759-766, 1994.
- Wagger, M.G.; Denton, H.P. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no till corn. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.53, n.5, p.1206-1210, 1989.
- Yeomans, J.C.; Bremner, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Monticello, v.19, n.6, p.1467-1476, 1988.