

ALTERAÇÕES FÍSICAS INTRODUZIDAS POR DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO TEXTURA MÉDIA¹

ELIAS NASCENTES BORGES², FRANCISCO LOMBARDI NETO³, GILBERTO FERNANDES CORRÊA²
e ELOÁ VELASQUE SILVA BORGES⁴

RESUMO - Visando avaliar o efeito de diferentes níveis de compactação nos atributos físicos: densidade do solo, porosidade total, conteúdos volumétricos de sólidos e de água e distribuição dos poros para retenção de água/ar, diferentes quantidades de massa de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média foram introduzidas mediante uma prensa hidráulica em anéis de PVC de 0,88 dm³. Utilizando fórmulas desenvolvidas na mecânica dos solos e com os valores de densidades obtidos no feixe de raios-gama e densidade de partículas, observou-se que a aplicação de uma carga (pressão) sobre o solo reduziu linearmente tanto a porosidade total como o espaço de aeração, e aumentou na mesma magnitude os conteúdos volumétricos de sólidos e o de água.

Termos para indexação: porosidade, densidade, feixe de raios-gama.

PHYSICAL ALTERATIONS INDUCED BY COMPACTION OF A COARSE SILTY DARK RED LATOSOL

ABSTRACT - This research was conducted with the objective of studying physical alterations due to different levels of compaction in a coarse silty Dark Red Latosol (Oxisol). Compaction was obtained through a hydraulic press and bulk densities were checked in a gamma ray apparatus. Using soil mechanical equations, it was observed that the application of a strength over the soil reduced the total porosity and the aeration space, while increased in the same proportion the solid and water volumetric content.

Index terms: porosity, bulk density, gamma ray apparatus.

INTRODUÇÃO

Graças à rápida evolução nas pesquisas em fertilidade do solo e adubação, grandes extensões do domínio dos cerrados foram e estão sendo incorporadas ao sistema produtivo. Contudo, após alguns anos sob utilização intensiva, tem sido verificada a

degradação das propriedades físicas do solo, refletindo negativamente na produtividade agrícola e na conservação do solo desse recurso natural.

Intensa desestruturação do solo e a subsequente movimentação vertical de argilas, seguida de deposição na subsuperfície, pode estar provocando a formação de camada compactada logo abaixo da camada arável (Carvalho Júnior, 1995). O aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento da densidade do solo e drástica redução na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível à planta, e na aeração (Alvarenga et al., 1996). Essas alterações, além de favorecerem a formação de ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas, comprometem a infiltração de água e a penetração das raízes, tornando os solos mais suscetíveis à erosão (Brady, 1979; Primavesi, 1990; Vepraskas & Waggar, 1990).

¹ Aceito para publicação em 20 de outubro de 1998.

Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. Trabalho financiado pela FAPESP.

² Eng. Agr., Dr., Dep. de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38400-902 Uberlândia, MG. E-mail: elias@ufu.br

³ Eng. Agr., Dr., Seção de Fotointerpretação do Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP.

⁴ Eng. Agríc., M.Sc., Universidade do Estado de Minas Gerais, Caixa Postal 495, CEP 38700-000 Ituiutaba, MG.

Montovani (1987) atribui a gênese dessa camada compactada ao uso excessivo de máquinas. Oliveira (1992) destaca, neste processo, a dispersão de argila, provocada por uma maior taxa de oxidação da matéria orgânica do solo, e por alterações químicas quando esses solos são colocados em produção agrícola. Jucksch (1987), Sumner (1992) e Carvalho Júnior (1995) enfatizam que a dispersão de argila se dá pelas intensas calagens e adubações realizadas nos solos quando em produção.

A avaliação dessas alterações introduzidas pelo uso agrícola intensivo do solo é importante na medida em que estas se relacionam com decréscimos na produção agrícola e ainda predisõem o solo à erosão. Linhas de pesquisas que visem à correção ou prevenção dessas alterações devem ser precedidas de estudos básicos.

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de compactação nos atributos físicos: densidade do solo, porosidade total, conteúdos volumétricos de sólidos e de água e distribuição dos poros para retenção de água ou ar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório do Departamento de Ciências do Solo da USP/ESALQ, Piracicaba SP, no período de dezembro de 1993 a julho de 1994, utilizando amostras de Latossolo Vermelho-Escuro álico, A moderado, textura média (Embrapa, 1982), coletadas na camada de 10-30 cm, no município de Uberlândia, MG. A análise laboratorial da amostra conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1979) revelou os seguintes atributos químicos e físicos: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 4,2$; $\text{P} = 0,15 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{K} = 0,3 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{Al} = 8,5 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{Ca} = 0,4 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{Mg} = 0,2 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{H} + \text{Al} = 21,0 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{M.O.} = 7,2 \text{ g kg}^{-1}$; areia grossa = 50 g kg^{-1} ; areia fina = 550 g kg^{-1} ; silte = 214 g kg^{-1} ; argila = 186 g kg^{-1} ; capacidade de campo (cc) = 18, 68%.

Para execução do experimento, os tratamentos corresponderam a quatro níveis de compactação, necessários para atingir as densidades do solo de: 1,32 (normal), 1,47, 1,62 e $1,77 \text{ kg dm}^{-3}$. Como recipiente, utilizaram-se anéis de PVC de 15 cm de diâmetro, altura de 5 cm e volume de $0,88 \text{ dm}^3$. Cada um dos tratamentos recebeu 1,16, 1,30, 1,43 e $1,56 \text{ kg}$ de solo (TFSA) e uma quantidade de água equivalente a 70% da capacidade de campo, destinada a facilitar o processo da compactação.

Mediante o uso de uma prensa hidráulica marca Sewa, com capacidade de carga de até 100 toneladas, e um disco de ferro de diâmetro igual ao do anel (15 cm) acoplado à cabeça do hidráulico, foram aplicadas cargas de 0,00, 5,94, 9,05 e $13,58 \text{ MPa}$, visando obter as densidades de 1,32 (sem compactação), 1,47, 1,62 e $1,77 \text{ kg dm}^{-3}$. Obtidos os níveis de compactação de 0, 1, 2 e 3, os blocos compactados foram submetidos ao espectrômetro de raios-gama para determinação da densidade do solo, pelo método da atenuação de radiação gama, conforme metodologia proposta por Davidson et al. (1963) citado por Ferraz (1974).

Durante a compactação, o anel de PVC foi introduzido no interior de um protetor construído com chapa de ferro de 10 mm de espessura, com formato de “meia cana”, para aumentar a resistência do anel de PVC à deformação ou à ruptura, quando o material de solo era submetido à carga da prensa hidráulica.

Com os valores da densidade do solo – obtidos no aparelho de raios gama (DsRGA) – e da densidade das partículas (Dp) – obtida pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1979) –, foram calculados, com as fórmulas desenvolvidas na teoria da mecânica de solo, os seguintes atributos físicos do solo:

porosidade total do solo (PtCAL) = $(Dp - \text{DsRGA}) / Dp * 100$;

conteúdo volumétrico de matéria sólida (MSOL) = $100 - \text{PtCAL}$;

poros ocupados com água (POA) = $0,70 * \text{CC} * \text{DsRGA}$;

poros livres de água (PLA) = $\text{PtCAL} - \text{POA}$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão polinomial pelo SANEST, de autoria de Zonta et al. (1984), adotando 5% de probabilidade como nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra do solo utilizada apresentou, no nível de compactação (NC) zero, ou seja, na densidade do solo de $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$, atributos físicos próximos dos considerados adequados para o desenvolvimento de plantas, propostos por Fried & Broesart (1967), quais sejam: valores médios de $0,495 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ do conteúdo de sólidos (MSOL), e de $0,505 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ da porosidade total (PtCAL). Desse espaço poroso, $0,173 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ estavam ocupados com água, e $0,332 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, com ar (Tabela 1).

Com a introdução dos níveis de compactação, pode ser observado (Tabela 1) que o conteúdo volumétrico de sólidos (MSOL) aumentou, em

TABELA 1. Avaliação de atributos físicos do material de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, submetido a diferentes níveis de compactação (NC)¹.

Níveis de compactação	DsRGA	Dp	MSOL	PtCAL	POA	PLA
	-----(kg dm^{-3})-----		-----($\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$)-----			
0	1,32	2,67	0,505	0,495	0,173	0,332
1	1,47	2,67	0,449	0,551	0,192	0,257
2	1,64	2,67	0,384	0,616	0,216	0,168
3	1,74	2,67	0,348	0,652	0,228	0,120

¹ DsRGA: densidade do solo lido no aparelho de raios-gama; Dp: densidade de partículas; PtCAL: porosidade total do solo; MSOL: conteúdo volumétrico de matéria sólida; POA: poros ocupados com água; PLA: poros livres de água.

média, de $0,495 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para $0,652 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, enquanto o espaço poroso total (PtCAL) reduziu, em média, de $0,505 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para $0,348 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$. A compactação, portanto, provocou inversão na relação poros ocupados com ar (PLA)/poros ocupados com água (POA) (Tabela 1).

Nota-se que a compactação nível 3, executada para obter a densidade do solo de $1,77 \text{ kg dm}^{-3}$, reduziu os poros livres de água (PLA), ou seja, os poros de aeração de $0,332 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para $0,120 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, equivalendo a uma redução de 175%, em média.

O conteúdo volumétrico de água (POA) aumentou de $0,173 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ para $0,228 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, equivalendo a um aumento médio de 32%. Esta distribuição está, portanto, distante daquela considerada adequada para o crescimento de plantas, proposta como sendo de 25% para cada fração (Fried & Broesart, 1967). Resultados semelhantes foram também observados por Alvarenga et al. (1996).

Para atingir os níveis de compactação propostos, com densidades de: 1,32, 1,47, 1,62 e $1,77 \text{ kg dm}^{-3}$ foi fixado o volume do anel e variou a massa de TFSA. Na Tabela 1, observa-se que as densidades determinadas pelo aparelho de raios-gama encontram-se próximos aos valores inicialmente propostos. A análise de variância da diferença entre a densidade proposta metodologicamente e a lida no aparelho de raios-gama, indicou não haver significância entre dois valores.

Quanto ao efeito da compactação (X) nos valores de densidade do solo (Y), avaliado pelo feixe de raios-gama, verifica-se o ajuste de uma equação de regressão com comportamento

quadrático, $\hat{Y} = -1,39 + 2,87X - 0,62X^2$ ($r = 0,99^{**}$). Como a derivada primeira dessa equação fornece, como ponto de máximo, a densidade de $2,32 \text{ kg dm}^{-3}$, fez-se opção pela equação linear, $\hat{Y} = 0,07 + 0,95X$, com $r = 0,99^{**}$. Essa equação indica que a densidade do solo foi sempre crescente com os níveis de compactação aplicados.

Oliveira (1992) afirma que a compactação não ocorre somente por meios antrópicos ou mecânicos, mas ainda por processos naturais como: ação da chuva, ventos, dispersantes químicos naturais do solo, e ciclos de umedecimento e secagem.

A relação entre o conteúdo volumétrico de sólidos e a porosidade total, nos diferentes níveis de compactação, seguiu comportamento linear inverso entre si. Isto é, enquanto o conteúdo volumétrico de sólidos cresceu linearmente com a compactação, conforme equação $\hat{Y}_1 = 2,84 + 35,58X$, $r = 0,99^{**}$, a porosidade total, caracterizada pela equação $\hat{Y}_2 = 0,97 - 0,36X$, $r = 0,99^{**}$, decresceu significativamente na mesma proporção, uma vez que a regressão quadrática ajustada, $\hat{Y}_2 = 1,52 - 1,07X + 0,23X^2$, $r = 0,99^{**}$, embora apresente efeito significativo pelo teste de t, possui o ponto de mínima porosidade fora do intervalo de densidade considerado nesta pesquisa, ou seja, em $2,32 \text{ kg dm}^{-3}$.

Observando-se a equação linear $\hat{Y}_2 = 0,97 - 0,36X$, percebe-se que a porosidade total calculada encontra-se próximo à porosidade original do solo no intercepto da curva e vai diminuindo a uma taxa de aproximadamente 10%, com os níveis crescentes de compactação, conforme demonstra o coeficiente angular da equação. Desse modo, as pressões de 5,94, 9,05 e $13,58 \text{ MPa}$, a que foram submetidas as amostras de solos para se obter as densidades de

1,47, 1,62 e 1,77 kg dm⁻³, respectivamente, certamente foram suficientes para promover a ruptura dos agregados, aproximar as partículas primárias do solo, e reduzir sua porosidade.

Grohmann (1975) afirma que qualquer alteração na estrutura original do solo, seja pelo manejo incorreto durante uso agrícola, pisoteio de animais, ou qualquer outra força externa, irá provocar diminuição do espaço poroso, com surgimento de camada compactada.

O aumento no conteúdo volumétrico de sólidos pela aplicação da compactação afetou a distribuição dos poros por tamanho. A pressão mecânica exercida sobre os agregados pela compactação, deve ter provocado a ruptura destes, facilitando a aproximação das partículas. A consequência imediata é a redução da porosidade total, pela diminuição dos poros maiores, com aumento no número de poros menores. Tais condições poderão propiciar a formação de um ambiente redutor, com drásticas alterações nos processos dinâmicos e biológicos do solo, como já observado por Raij (1987) e Primavesi (1990).

Essa observação é semelhante à de Alvarenga et al. (1996) que, ao compactar manualmente um Latossolo Vermelho-Amarelo para obter a densidade de 1,40 kg dm⁻³, obtiveram uma redução da macroporosidade de 0,31 dm³ dm⁻³ para 0,10 dm³ dm⁻³.

Silva (1984), também trabalhando com compactação de solo, observou que os poros maiores do que 0,005 mm sofreram reduções de quantidade, enquanto os menores do que este tamanho sofreram incrementos.

Paralelamente à redução na porosidade total calculada, houve aumento no conteúdo volumétrico de água (POA), e drástica redução no espaço de aeração do solo (PLA), conforme dados da Tabela 1. Análises de regressão desses dados possibilitaram estabelecer que tanto o aumento no conteúdo volumétrico de água (\hat{Y}_1) como a redução do espaço de aeração (\hat{Y}_2) possuíam comportamentos lineares, conforme equações: $\hat{Y}_1 = 0,90 + 12,49X$ e $\hat{Y}_2 = 0,95 - 0,47X$, com $r = 0,99^{**}$ de ajuste de ambas as equações.

O aumento linear do conteúdo volumétrico de água e a conseqüente redução no espaço de aeração em decorrência da compactação poderão ter impor-

tantes implicações no suprimento de oxigênio, disponibilidade de nutrientes, e elementos em níveis tóxicos às plantas e aos microorganismos, como já constatado (Brady, 1979; Raij, 1987; Carvalho Júnior, 1995).

Outra preocupação com a redução da aeração do solo e o aumento do conteúdo volumétrico de água, como observado na Tabela 1, refere-se ao fato de este aumento na retenção de água pela compactação não implicar maior disponibilidade desta para as plantas. A força com que a água passa a ser retida nos microporos estabelecidos pela compactação é superior à capacidade que as plantas possuem para extraí-la, conforme relatado por Borges et al. (1987). Stone et al. (1994) também afirmam que o aumento na disponibilidade pode não ocorrer, como observaram em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, após sete anos de cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob pivô central. Nessas condições, observaram que na camada de 0 a 20 cm a água disponível diminuiu de 10,6 mm para 8,0 mm, enquanto na camada de 20 a 40 cm o decréscimo foi de 9,0 para 7,2 mm, com a evolução da compactação do solo.

Em um solo compactado, ocorre diminuição na porosidade livre de água, com conseqüente decréscimo em sua permeabilidade, tanto da água como das trocas gasosas. A baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água, nutrientes e trocas gasosas, conforme afirmam Camargo & Alleoni (1997).

Dentro desse contexto, Voorhees (1977) observou que o trigo, quando cultivado em solo com camada subsuperficial compactada, apresentava-se mais suscetível ao déficit hídrico do que o cultivado em solo não compactado.

CONCLUSÕES

1. A aplicação dos níveis de compactação proporciona redução, de maneira linear, da porosidade total e do espaço de aeração.

2. A aplicação dos níveis de compactação proporciona aumento da densidade do solo, lida no aparelho de raios-gama, e aumento dos conteúdos volumétricos de água e de sólidos.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C.R.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.10, n.2, p.181-195, 1987.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. 647p.
- CAMARGO, D.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997. 132p.
- CARVALHO JÚNIOR, I. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 83p. Tese de Mestrado.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ.). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 526p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.
- FERRAZ, E.S.B. **Determinação simulada de densidade e umidade de solos por atenuação de raios gama do ¹³⁷Cs e ²⁴¹Am**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 120p. Tese de Livre Docência.
- FRIED, M.B.; BROESART, H. **The soil-plant systems in relation to inorganic nutrition**. New York: Academic, 1967. 358p.
- GROHMANN, F. Compacidade. In: MONIZ, A.C. (Ed.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p.93-99.
- JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 37p. Tese de Mestrado.
- MONTOVANI, E.V. Compactação do solo, máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.17-32, mar. 1987.
- OLIVEIRA, T.S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades físicas e químicas de quatro latossolos brasileiros**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 104p. Tese de Mestrado.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1990. 549p.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. 142p.
- SILVA, A.P. **Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (*Gossypium hirsutum*, L.)**. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 1984. 75p. Tese de Mestrado.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P. Características físico-hídricas e químicas de um latossolo após adubação e cultivos sucessivos de arroz e feijão, sob irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, 533-539, 1994.
- SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solo ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais**. Brasília: Nagy, 1992. p.7-40.
- VEPRASKAS, M.J.; WAGGER, M.G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.849-854, 1990.
- VOORHEES, W.B. Soil compaction: how it influences moisture temperature, yield, root growth. **Crops and Soil Magazine**, Baltimore, v.29, p.13-16, 1977.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JÚNIOR, P. **Sistema de Análise Estatística para Micro-computadores (SANEST)**. Pelotas: UFPEL, Departamento de Matemática e Estatística, 1984. 151p.