

# **MODIFICAÇÕES CAUSADAS PELO USO E A FORMAÇÃO DE CAMADAS COMPACTADAS E, OU, ADENSADAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO TEXTURA MÉDIA, NA REGIÃO DO CERRADO<sup>(1)</sup>**

**I. A. CARVALHO JÚNIOR<sup>(2)</sup>, L. E. F. FONTES<sup>(3)</sup> & L. M. COSTA<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

**O objetivo deste trabalho foi avaliar as modificações causadas pelos diferentes usos em atributos de um Latossolo de textura média e a influência destas na formação de camadas compactadas e, ou, adensadas de subsuperfície, sob diferentes usos agrícolas, na região do cerrado. Para tanto, em abril de 1994, nos municípios de Uberlândia e Monte Alegre de Minas, foram selecionados seis locais onde o solo foi amostrado em trincheiras: CC (Fazenda Canadá, vegetação de cerrado); CP (Fazenda Canadá, cultivo com uso de pivô central); GC (Fazenda Gaia, vegetação de cerrado); GPa (Fazenda Gaia, pastagem); GP1 e GP2 (Fazenda Gaia, cultivo com uso de pivô central). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro, textura média e apresentava camadas compactadas e, ou, adensadas em subsuperfície, incluindo as áreas sob vegetação de cerrado, variando apenas o valor da densidade do solo e a profundidade em que a camada aparece. O cultivo provocou modificações em relação à presença do cerrado. A área sob pastagem, exceto por um aumento superficial na resistência à penetração, apresentou comportamento semelhante ao das áreas sob cerrado. O aumento da densidade nas camadas subsuperficiais deveu-se, possivelmente, ao aumento da argila dispersa em água nas áreas cultivadas. O aumento da argila dispersa em água ocorreu em decorrência de diversos fatores, tais como: redução do carbono orgânico, calagem e aumento do PCZ. Ocorreu correlação positiva e significativa entre o teor de SiO<sub>2</sub> e a percentagem de argila dispersa em água e, conseqüentemente, com a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas, no solo estudado, sob diferentes usos.**

**Termos de Indexação: compactação, adensamento, calagem, características físicas, características químicas.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa. Trabalho apresentado no XXV CBCS, em Viçosa (MG), 23-29 de julho de 1995. Recebido para publicação em junho de 1997 e aprovado em junho de 1998.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG).

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. Bolsista do CNPq.

**SUMMARY:** *MODIFICATIONS CAUSED BY DIFFERENT AGRICULTURAL USES AND FORMATION OF COMPACTED AND, OR, DENSE LAYERS IN A DARK RED LATOSOL MEDIUM TEXTURE, IN THE CERRADO REGION OF BRAZIL*

*The objective of this study was to evaluate the influence of different agricultural uses on alterations in the attributes of a medium-textured Latosol, in the region of cerrado and, in turn, on the formation of compacted and/or dense layers in the subsurface. In April, 1994, six sites were selected in the counties of Uberlândia and Monte Alegre de Minas, State of Minas Gerais, Brazil, where the soil was sampled in trenches: CC (Canadá Farm, cerrado vegetation); CP (Canadá Farm, cultivated with the use of a central pivot); GC (Gaia Farm, cerrado vegetation); GPa (Gaia Farm, pasture); GP1 and GP2 (Gaia Farm, cultivated with the use of a central pivot). The soil was classified as Dark Red Latosol of medium texture and presented compacted and, or, dense layers in the subsurface, even in the areas under cerrado vegetation, with variations only in the value of bulk density and depth in which these layers appear. The cultivation caused modifications in relation to the cerrado areas. The area under pasture presented a behaviour very similar to that of the cerrado areas, except for the hardening of the surface. There was an increase in density in the subsuperficial layers, which may have been caused by the increase of the water-dispersed clay in the cultivated areas. The increase of the water-dispersed clay was caused by several factors, such as reduction of organic carbon and liming and increased PZC. There was a significant and positive correlation between  $SiO_2$  content and the percentage of water-dispersed clay, which contributed to the formation of compacted layers in this soil under different uses.*

*Index terms: Compaction, densing, liming, physics characteristics, chemical characteristics.*

## INTRODUÇÃO

Nos cerrados, graças ao relevo pouco movimentado e a outras condições favoráveis, é intenso o uso de máquinas e implementos agrícolas, com dois ou mais cultivos anuais, caso a irrigação seja incluída.

Esse tipo de manejo provoca modificações nas propriedades dos solos, em relação àquelas de seu estado natural. Tem sido detectada a presença de camadas compactadas e, ou, adensadas subsuperficiais em solos cultivados e, mesmo, sob vegetação natural.

A compactação dos solos é causada por uma intensa movimentação de máquinas e implementos agrícolas que provocam pressões na superfície do solo (Mantovani, 1987).

Alguns estudos mostram que a formação dessas camadas se dá pela eluviação de partículas finas para horizontes subsuperficiais, obstruindo os poros formados entre partículas maiores ou microagregados, ou seja, ocorre maior contato entre partículas, diminuindo a macroporosidade do solo (Jucksch, 1987). Tal processo é caracterizado como adensamento. A desagregação, no adensamento, é causada por modificações químicas, como a calagem (Jucksch, 1987), e físicas, provocadas por ciclos de umedecimento e secagem (Oliveira, 1992). As principais causas, que podem ser naturais ou antrópicas, são a chuva e os dispersantes químicos, que desagregam parcialmente o solo, levando à dispersão das partículas sólidas, além da desagregação mecânica, com enxada rotativa e grades.

São inúmeros os trabalhos que avaliam o efeito do cultivo e de sistemas de preparo sobre as diversas propriedades dos solos. Eltz et al. (1989) concluíram que manejos diferentes modificam o tamanho dos agregados estáveis de um Latossolo. A mesma conclusão foi obtida por Paladini & Mielniczuk (1991) para Podzólicos.

É importante observar que a maioria dos estudos apenas analisa as conseqüências dos diferentes manejos, mas são raras as pesquisas que estudam as modificações de propriedades químicas ou físicas dos solos, tentando explicar a formação das camadas compactadas e, ou, adensadas frente aos diversos usos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes usos de máquinas e implementos agrícolas nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo de textura média, na região do cerrado, com intuito de obter informações sobre o efeito destes na formação de camadas compactadas e adensadas em subsuperfície.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais de solos estudados foram provenientes das fazendas Canadá e Gaia da Empresa ABC A & P-S.A. A primeira, situada no município de Uberlândia, cuja latitude e longitude aproximadas são 18°55' sul e 48°17' oeste, respectivamente. A segunda, localizada no município de Monte Alegre

de Minas, cuja latitude e longitude aproximadas são 18°52' sul e 48°52' oeste, respectivamente. Os municípios localizam-se na região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais. A área pertence à Bacia do Rio Paraná, com altitude média entre 850 e 900 metros. O relevo é suave ondulado. O clima da região foi classificado como Aw, pelo Sistema de Köppen. Apresenta inverno frio e seco e verão quente e chuvoso (entre os meses de outubro e março). A precipitação total anual é de 1.400 a 1.500 mm. A temperatura média anual está entre 20 e 24°C, variando de 18°C, para o mês mais frio, e 25°C, para o mês mais quente. A vegetação característica da área é o cerrado. O material de origem dos solos estudados é proveniente, predominantemente, de arenitos da Formação Bauru.

### Trabalho de campo

Após percorrer e observar a área, foram selecionados seis pontos para abertura das trincheiras, considerando o tipo de uso e manejo e a representatividade do local; duas na Fazenda Canadá e quatro na Fazenda Gaia. Abriam-se trincheiras com 1 m de largura e comprimento e 0,5 m de profundidade. As amostras de solos foram coletadas em setembro de 1993, após a colheita e antes do preparo dos solos a serem cultivados. As trincheiras em estudo foram denominadas: CC, CP, GC, GPa, GP1 e GP2. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro textura média. A cor do solo é vermelho (2,5 YR 4/6 úmido amassado) e vermelho (3,5 YR 4/6 úmido), avaliada na trincheira GPa. Fez-se um diagnóstico no local da coleta sobre a condição física do solo em cada trincheira. Utilizaram-se faca e martelo pedológico, para observar a resistência à penetração, e piseta, para avaliar a velocidade de infiltração de água, a fim de se verificar, em campo, a presença de camadas compactadas e, ou, adensadas.

### Características das trincheiras e das áreas

CC - representou solo da fazenda Canadá (C) sob vegetação de cerrado (C); CP - representou solo da Fazenda Canadá (C), sob cultivo de milho e soja (rotação de cultura) desde 1987, irrigado por pivô central (P). O preparo do solo era feito com grade niveladora e arado de disco, anualmente. Houve incorporação de milho em 1991; GC - representou solo da Fazenda Gaia (G) sob cerrado (C); GPa - representou solo da Fazenda Gaia (G) sob pastagem de braquiária, desde 1986 (Pa). A pastagem encontrava-se em bom estado. A área encontrava-se em cotas altimétricas mais baixas entre todas as estudadas, e o solo era mais amarelado; GP1 - representou solo da Fazenda Gaia (G), sob cultivo de milho desde 1987, irrigado por pivô central (P1). O preparo do solo era feito com grade pesada. A área era terraceada e apresentava sérios problemas de erosão; GP2 - representou solo da Fazenda Gaia (G), sob cultivo de feijão e soja em rotação desde 1979,

irrigado por pivô central (P2). Na época da coleta, o feijão estava em fim de ciclo. O preparo do solo era feito com arado de discos.

### Coleta do material de solo

Para as análises de laboratório, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas, em camadas de 0-0,025; 0,025-0,05; 0,05-0,075; 0,075-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade, perfazendo um total de oito profundidades para cada trincheira. Para as amostras deformadas, o material foi seco ao ar e passado em peneira com malhas de 0,002 m. O material indeformado foi coletado em torrões e seco ao ar.

### Análises físicas

Foram realizadas análise textural, pelo método da pipeta, densidade do solo, pelo método do torrão parafinado, e densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, tendo álcool etílico como líquido penetrante (EMBRAPA, 1979). Porosidade total foi calculada pela expressão: porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ) =  $100 \times (\text{densidade real} - \text{densidade do solo}) / \text{densidade real}$ . Para verificar a argila dispersa em água, utilizou-se agitador horizontal de 200 oscilações por minuto, segundo Jucksch (1987). Para obter o número de repetições necessárias para argila dispersa em água, foram seguidas as recomendações de Farias et al. (1991). Grau de floculação foi calculado pela expressão: grau de floculação (%) =  $100 \times (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total}$ .

### Análises químicas

Reação do solo: foram determinados pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na relação 1:2,5, de acordo com EMBRAPA (1979); carbono orgânico: feito pelo método Walkley-Black, conforme Jackson (1958), citado por Defelipo & Ribeiro (1981); ponto de Carga Zero (PCZ); realizado em três profundidades para cada trincheira, 0-0,025, 0,10-0,15 e 0,30-0,40 m, exceto para a trincheira GP1, com as profundidades de 0-0,025, 0,075-0,10 e 0,20-0,30 m. Utilizou-se o método titulométrico, de acordo com Costa et al. (1984); cátions trocáveis, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, e K<sup>+</sup>, como extrator Mehlich-1/K<sup>+</sup>, conforme Defelipo & Ribeiro (1981); alumínio trocável, extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (Raij et al., 1981); acidez potencial, extraída com Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 conforme Vettori (1969); ataque sulfúrico, realizado de acordo com EMBRAPA (1979), analisando-se Fe, Al, Si, Ti e P, expressos, respectivamente, como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para três profundidades de cada trincheira, selecionando-se uma camada superior e uma inferior à camada adensada, e uma referente à camada adensada e, ou, compactada, selecionada a partir dos dados de densidade do solo.

### Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise estatística, pelo estudo da correlação de Pearson. Consideraram-se

seis trincheiras e oito profundidades, perfazendo um total de 48 observações para cada variável, com exceção do PCZ e dos valores de ataque sulfúrico, com menor número de observações.

arenosos, variando de 720 a 830 g kg<sup>-1</sup> de areia total. Os teores de silte e de argila total variaram de 20 a 90 e de 110 a 210 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A variação de solo entre trincheiras não foi tão expressiva; todavia, dentro da própria trincheira, observaram-se variações mais perceptíveis das frações texturais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização física dos solos em profundidade

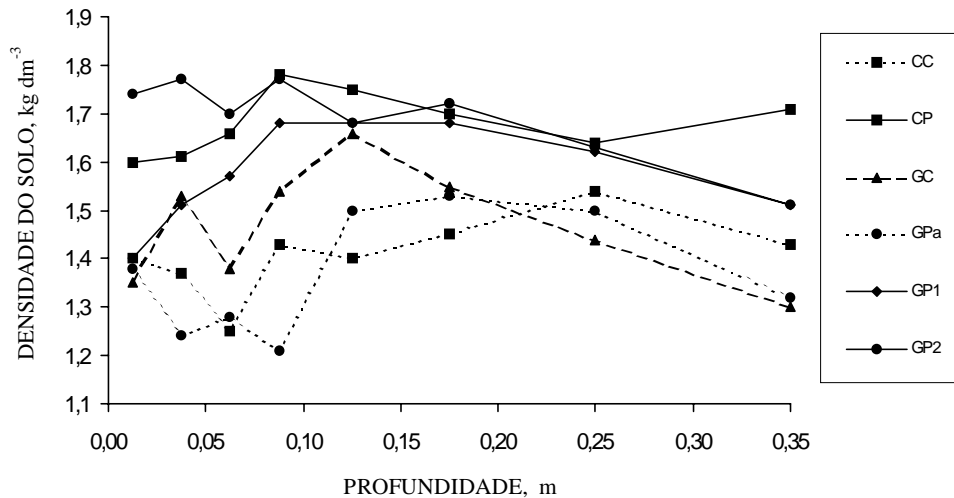
Considerando os resultados da análise textural, da argila dispersa em água e do grau de floculação (Quadro 1), observa-se que os solos são bastante

### Diagnóstico efetuado no campo

De acordo com o diagnóstico feito em campo e com as análises de laboratório (Figura 1), todos os solos apresentaram camadas adensadas em subsuperfície, independentemente do uso, variando apenas a intensidade. Os solos, na época da coleta, apresentavam-se secos, aumentando um pouco a

**Quadro 1. Resultados das análises de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (SL), argila total (ARGT), argila dispersa em água (ARGD), grau de floculação (GF), densidade de partículas (DR) e porosidade total (PT) para as seis trincheiras estudadas**

Solo	Profundidade	AG	AF	SL	ARGT	ARGD	GF	DR	PT
	m	g kg <sup>-1</sup>					m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	kg dm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
CC	0-0,025	400	420	40	140	26	82	2,53	0,45
	0,025-0,05	340	410	50	200	29	86	2,52	0,46
	0,05-0,075	350	410	70	170	26	85	2,55	0,51
	0,075-0,10	360	410	70	160	39	76	2,55	0,44
	0,10-0,15	330	450	60	160	39	76	2,52	0,45
	0,15-0,20	370	380	50	200	44	77	2,52	0,43
	0,20-0,30	320	430	60	190	39	79	2,55	0,39
	0,30-0,40	370	350	70	210	38	82	2,55	0,44
CP	0-0,025	380	450	20	150	46	69	2,55	0,38
	0,025-0,05	370	440	30	160	66	60	2,55	0,37
	0,05-0,075	410	400	30	160	59	63	2,55	0,35
	0,075-0,10	380	440	20	160	56	65	2,53	0,31
	0,10-0,15	420	380	30	170	58	66	2,56	0,32
	0,15-0,20	350	450	30	170	52	69	2,56	0,34
	0,20-0,30	360	420	20	200	55	72	2,55	0,36
	0,30-0,40	380	400	40	180	54	71	2,56	0,33
GC	0-0,025	390	410	30	170	19	89	2,56	0,48
	0,025-0,05	360	440	30	170	35	80	2,57	0,41
	0,05-0,075	380	410	40	170	34	80	2,58	0,47
	0,075-0,10	350	430	40	180	43	76	2,58	0,40
	0,10-0,15	400	400	30	170	36	79	2,58	0,36
	0,15-0,20	370	450	30	150	32	79	2,58	0,40
	0,20-0,30	360	460	30	150	33	78	2,55	0,44
	0,30-0,40	360	430	40	170	41	76	2,57	0,50
GPa	0-0,025	500	310	20	170	7	96	2,51	0,46
	0,025-0,05	530	300	50	120	21	82	2,51	0,51
	0,05-0,075	530	290	70	110	21	82	2,54	0,50
	0,075-0,10	430	370	70	130	22	84	2,54	0,52
	0,10-0,15	520	280	90	110	21	82	2,54	0,41
	0,15-0,20	540	280	40	140	19	87	2,55	0,40
	0,20-0,30	570	230	40	160	25	84	2,55	0,41
	0,30-0,40	510	300	40	150	21	86	2,55	0,48
GP1	0-0,025	440	370	30	160	57	64	2,47	0,43
	0,025-0,05	430	380	30	160	34	79	2,44	0,38
	0,05-0,075	450	360	30	160	48	71	2,43	0,36
	0,075-0,10	420	380	40	160	37	76	2,45	0,31
	0,10-0,15	450	360	30	160	52	69	2,43	0,31
	0,15-0,20	460	360	30	150	57	64	2,44	0,31
	0,20-0,30	480	320	30	170	56	67	2,47	0,34
	0,30-0,40	410	370	50	170	62	64	2,47	0,38
GP2	0-0,025	510	320	30	140	47	72	2,59	0,33
	0,025-0,05	480	320	30	170	57	67	2,59	0,31
	0,05-0,075	470	300	60	170	48	71	2,59	0,34
	0,075-0,10	490	300	50	160	59	63	2,58	0,31
	0,10-0,15	460	330	30	180	64	65	2,59	0,35
	0,15-0,20	470	340	50	140	61	58	2,58	0,33
	0,20-0,30	490	300	30	180	70	61	2,58	0,37
	0,30-0,40	480	300	40	180	70	61	2,59	0,42



**Figura 1.** Densidade do solo para as seis trincheiras estudadas.

umidade em profundidade. CC - Pela descrição de campo, esta trincheira apresentou camada adensada entre 0,05 e 0,30 m, sendo mais resistente à penetração entre 0,10 e 0,15 m. Pelas análises de laboratório, a camada adensada localizava-se entre 0,20 e 0,30 m de profundidade (Figura 1). Continha grande quantidade de restos orgânicos, não havendo problema de infiltração de água, tampouco impedimento ao crescimento de raízes. CP - A camada compactada foi percebida entre 0,10 e 0,30 m de profundidade, pela descrição de campo. Pelas análises de laboratório, ela se situava entre 0,075 e 0,20 m de profundidade, com valores mais elevados que a da trincheira anterior (Figura 1). Essa camada apresentava baixa infiltração de água, era resistente à penetração e parecia ser um impedimento ao crescimento das raízes. GC - Pela descrição de campo, a camada adensada apresentou-se entre 0,20 e 0,30 m. Pelas análises de laboratório, a camada adensada estava entre 0,075 e 0,20 m de profundidade (Figura 1). As outras características eram semelhantes às da CC. GPa - revelava condição diferente das outras, por apresentar um encrostamento superficial, possivelmente em virtude do pisoteio do gado. A camada adensada apresentou-se entre 0,05 e 0,15 m de profundidade, pelo diagnóstico de campo. Pelas análises de laboratório, a camada adensada estava entre 0,10 e 0,30 m de profundidade (Figura 1), porém os valores de densidade do solo não foram altos o suficiente para causar impedimento ao crescimento radicular. Apresentou uma alta densidade de raízes, principalmente até 0,30 m de profundidade. O valor da densidade do solo foi relativamente baixo para a camada superficial, com encrostamento superficial, talvez por ter a espessura da amostra (0-0,025 m) reduzido seu valor a um valor médio mais baixo, já que a referida camada era bastante fina. GP1 - Pela descrição de campo, essa trincheira apresentava uma camada bastante dura

entre 0,10 e 0,30 m. A camada compactada estava entre 0,075 e 0,20 m de profundidade, pelas análises de laboratório (Figura 1), revelando problemas de infiltração de água e impedimento ao crescimento de raízes, o que pode explicar os sérios problemas de erosão, mesmo em áreas terraceadas. GP2 - A camada compactada apresentou-se entre 0,15 e 0,40 m de profundidade, pela descrição de campo, sendo bastante resistente à penetração. Pelas análises de laboratório, a camada compactada ocorreu entre 0 e 0,20 m de profundidade (Figura 1). A infiltração de água foi baixa nessa camada. Os valores de densidade do solo foram bastante elevados, mas, considerando ser a textura arenosa (Figura 1), justificam-se os altos valores da densidade do solo. Percebeu-se em campo que, a partir de valores de 1,60 kg dm<sup>-3</sup>, aproximadamente, surgiram problemas para o desenvolvimento radicular das plantas e infiltração da água.

Um ponto a ser mencionado é a profundidade em que apareceu a camada adensada e, ou, compactada. Nas trincheiras de áreas com vegetação natural, essa camada situava-se entre 0,20 e 0,30 e 0,075 e 0,20 m de profundidade para CC e GC, respectivamente. Para GPa, estava entre 0,10 e 0,30 m. Para as áreas cultivadas, variava de 0,075 a 0,20 m para CP e GP1 e 0 a 0,20 m para GP2. De maneira geral, não se observou tal problema além de 0,30 m de profundidade, mas existia desde a superfície, normalmente a partir de 0,075 m de profundidade. Isto mostra que o problema não é só o pé-de-grade ou pé-de-arado, contrariando as conclusões de Alvarenga et al. (1987), já que a profundidade de revolvimento nesses solos é de 0,20 m, e as camadas compactadas e, ou, adensadas ultrapassaram, acima e abaixo, esse limite. Além disso, observou-se a presença dessas camadas em solos sob vegetação natural e sob pastagem, onde não se utilizavam máquinas há pelo menos seis anos antes da coleta.

### **Uso do solo, propriedades físicas e camadas adensadas e, ou, compactadas**

Os diferentes usos do solo provocaram mudanças nítidas em suas propriedades físicas e químicas. No caso das propriedades físicas, houve aumento da densidade do solo (Figura 1) devido à redução da porosidade total (Quadro 1) nas áreas cultivadas e irrigadas com pivô central (CP, GP1, GP2), em comparação com as áreas sob vegetação natural (CC e GC). A área sob pastagem (GPa) teve comportamento distinto das outras, apresentando valores semelhantes aos da área sob vegetação natural, tendo apenas encrostamento superficial, que a profundidade de amostragem utilizada para determinação da densidade do solo não foi adequada para detectar.

Outros atributos que também foram nitidamente modificados pelo cultivo foram a argila dispersa em água e o grau de floculação (Quadro 1). As áreas cultivadas apresentaram nítido aumento da primeira e conseqüente diminuição da segunda, em relação às áreas sob vegetação natural e sob pastagem, que manifestaram, em alguns casos, maior grau de floculação que a área sob vegetação de cerrado. Resultados semelhantes foram encontrados por Eltz et al. (1989) e Paladini & Mielniczuk (1991).

A modificação desses atributos foi importante para explicar a formação das camadas compactadas e, ou, adensadas. O coeficiente de correlação com a densidade do solo foi de 0,6898 e de -0,6823, para argila dispersa em água e grau de floculação, respectivamente, ambos significativos a 1%. O aumento da argila dispersa, resultado da destruição parcial dos agregados e da redução do estado de agregação dos solos, levou à eluviação das partículas dispersas. Isto, provavelmente, facilitou o novo arranjo de partículas e maior adensamento nessas camadas, gerando aumento na densidade do solo. Fonseca (1986) justificou o alto estado de adensamento dos solos desenvolvidos nos sedimentos do Barreiras pela baixa estabilidade dos agregados e pela alta dispersão de argilas encontradas nesses solos. De acordo com Baver et al. (1973), há um rearranjo das partículas do solo que se traduz em alterações na distribuição dos poros por tamanho e diminuição da porosidade total.

### **Uso do solo, propriedades químicas e camadas adensadas e, ou, compactadas**

A argila dispersa em água aumentou com o cultivo por diversos fatores. Esperava-se que o aumento da carga líquida do solo acarretasse o aumento da argila dispersa (Costa et al., 1984). A matéria orgânica (Quadro 2) mostrou um coeficiente de correlação negativo com a argila dispersa de -0,6217, significativo a 1%, ou seja, o aumento de matéria orgânica (MORG) provocou a diminuição da argila dispersa. Isto parece contraditório, já que a MORG deveria contribuir com cargas para esses

solos, mas pode haver mudanças na qualidade desta MORG. Os solos sob vegetação natural, apesar de apresentarem mais MORG, provavelmente a apresentaram em forma mais humificada, tendo um efeito de cimentação bem mais pronunciado que o de dispersão pelo aumento da carga líquida. O efeito da matéria orgânica de aumentar a agregação e o tamanho dos agregados foi encontrado por Paladini & Mielniczuk (1991) e Roth et al. (1991). O solo sob pastagem, da mesma maneira que os que se encontravam sob vegetação natural, apesar de conter alto teor de MORG, por ser formado a partir de gramíneas, deveria ser mais humificado. Por isso, o solo sob pastagem, em alguns casos, apresentou um grau de floculação maior que os solos sob vegetação natural (Quadro 1). Bradfield (1937), citado por Paladini & Mielniczuk (1991), afirmou que as gramíneas, pelo seu sistema radicular extenso e em constante renovação, são eficientes na agregação do solo.

A calagem foi outra atividade que causou algumas modificações nos solos cultivados. No quadro 2, pode-se perceber que o pH em H<sub>2</sub>O e o pH em KCl aumentaram em virtude da calagem, nos solos cultivados, da mesma maneira que a acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) e potencial (H + Al) diminuíram, e os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Quadro 3) aumentaram. O teor de K<sup>+</sup> também aumentou e, conseqüentemente, a soma de bases (SB), já que, conjuntamente com a calagem, fizeram-se outras adubações. Todas essas variáveis influenciaram, de maneira consistente, a formação das camadas compactadas e, ou, adensadas, principalmente pelo aumento da argila dispersa em água, causado por este desbalanço de cargas, nas áreas que receberam calagem, fato verificado por Fernandes (1996), Gomes (1996) e Jucksch (1987).

O aumento do pH em H<sub>2</sub>O e do pH em KCl resulta em um aumento de cargas nesses solos que, por serem Latossolos, são formados por minerais do tipo óxidos de Fe e Al e caulinita, tendo como tipos de cargas, principalmente, as dependentes de pH. O aumento de cargas nos solos cultivados devido à calagem pode provocar um aumento da argila dispersa em água, levando à formação das camadas adensadas. Tal efeito é mostrado pelos coeficientes de correlação e níveis de significância apresentados no quadro 4.

A acidez trocável e a potencial, que diminuíram com a calagem, também influenciaram a formação das camadas compactadas e, ou, adensadas. A acidez trocável e a potencial medem o Al<sup>3+</sup> e o H + Al, respectivamente, ambos cátions floculantes, comparados às bases trocáveis. Então, a redução desses cátions em relação às bases trocáveis levaria a um aumento da dispersão de argila que, por sua vez, pode provocar aumento da densidade do solo, pela eluviação e preenchimento dos poros. O quadro 4 mostra a correlação desses fatores com a argila dispersa em água e com a densidade do solo.

O efeito das bases trocáveis (Quadro 3) neste fenômeno pode ser analisado no quadro 4. O aumento do  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e a correspondente diminuição de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  trocáveis promovem a expansão da dupla camada difusa e, conseqüentemente, o aumento da argila dispersa em água. Outro efeito destas bases é que elas geram um aumento de cargas elétricas líquidas do solo, o que também pode levar a um aumento da argila dispersa. Fica claro, quando se observa o quadro 4, que  $\text{K}^+$  teve correlação não-significativa com a argila dispersa e com a densidade do solo. Isto talvez tenha se dado pelo baixo teor deste em relação ao  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que contribuíram muito mais para a soma de bases, principalmente o cálcio.

Todas estas variáveis influenciam, de maneira conjunta, as propriedades do solo. O aumento do pH significa uma redução da acidez trocável e da potencial e um aumento das bases trocáveis. Essa melhoria da condição química causou problemas nas propriedades físicas, principalmente no que se refere à argila dispersa em água.

O solo sob pastagem teve um comportamento singular em relação aos demais. Suas condições físicas são semelhantes às do solo sob vegetação natural e as condições químicas, por outro lado, semelhantes às do solo cultivado com uso de pivô central. O teor de MORG desses solos se apresentou alto em relação aos cultivados e, em alguns casos, também em relação aos sob vegetação natural. Em campo, percebeu-se

**Quadro 2. Resultados de análises de matéria orgânica (MORG), pH em água e em KCl, acidez trocável, acidez potencial e PCZ para as seis trincheiras estudadas**

Solo	Profundidade	MORG	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Acidez trocável	Acidez potencial	PCZ
	m	g kg <sup>-1</sup>			— cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> de solo —		
CC	0-0,025	35,1	4,40	3,90	1,25	6,33	4,25
	0,025-0,05	29,4	4,45	4,10	1,55	5,01	
	0,05-0,075	25,3	4,50	4,05	1,05	4,32	
	0,075-0,10	19,3	4,55	4,15	0,85	3,66	
	0,10-0,15	20,0	4,60	4,15	0,65	3,99	
	0,15-0,20	14,8	4,60	4,20	0,75	3,66	
	0,20-0,30	13,6	4,65	4,20	3,99	0,65	
	0,30-0,40	14,1	4,70	4,25	3,00	0,75	
CP	0-0,025	22,4	5,30	4,70	0,25	5,01	4,40
	0,025-0,05	21,7	5,50	4,85	0,25	2,34	
	0,05-0,075	20,5	5,30	4,75	0,05	2,67	
	0,075-0,10	20,0	5,70	5,10	0,00	2,01	
	0,10-0,15	16,0	6,00	5,30	0,00	1,32	
	0,15-0,20	16,0	5,95	5,25	0,00	1,32	
	0,20-0,30	16,0	6,00	5,35	0,00	0,99	
	0,30-0,40	11,4	6,00	5,35	0,00	0,99	
GC	0-0,025	48,3	4,50	3,95	1,35	8,01	3,87
	0,025-0,05	48,3	4,25	3,95	1,55	7,68	
	0,05-0,075	44,2	4,30	3,90	1,35	6,33	
	0,075-0,10	25,3	4,30	3,90	1,25	7,32	
	0,10-0,15	24,3	4,35	3,95	1,15	6,99	
	0,15-0,20	26,0	4,35	3,85	1,35	5,67	
	0,20-0,30	17,9	4,55	4,10	1,25	3,99	
	0,30-0,40	11,0	4,55	4,05	0,75	3,66	
GP <sub>a</sub>	0-0,025	49,0	6,15	5,15	0,00	2,67	4,15
	0,025-0,05	40,8	5,95	5,05	0,05	3,00	
	0,05-0,075	33,2	5,95	5,05	0,05	2,67	
	0,075-0,10	31,8	5,80	5,00	0,00	2,67	
	0,10-0,15	26,1	5,75	5,10	0,00	2,34	
	0,15-0,20	27,2	5,85	5,20	0,00	2,01	
	0,20-0,30	30,6	5,90	5,25	0,00	1,68	
	0,30-0,40	25,1	5,85	5,35	0,00	2,01	
GP <sub>1</sub>	0-0,025	20,1	5,85	5,10	0,05	2,34	4,13
	0,025-0,05	23,6	5,60	4,80	0,05	3,33	
	0,05-0,075	17,9	5,60	4,95	0,00	3,00	
	0,075-0,10	16,7	5,75	5,20	0,00	2,01	
	0,10-0,15	14,1	5,95	5,45	0,00	1,68	
	0,15-0,20	13,6	6,15	5,60	0,00	2,01	
	0,20-0,30	11,9	6,25	5,60	0,00	0,99	
	0,30-0,40	10,3	6,25	5,50	0,00	1,68	
GP <sub>2</sub>	0-0,025	21,7	6,00	5,30	0,00	2,34	3,90
	0,025-0,05	28,0	5,90	5,20	0,00	3,00	
	0,05-0,075	28,0	5,70	5,10	0,00	3,00	
	0,075-0,10	24,3	5,80	5,25	0,00	2,67	
	0,10-0,15	23,0	5,70	5,10	0,00	2,34	
	0,15-0,20	22,7	5,85	5,30	0,00	2,34	
	0,20-0,30	18,9	6,05	5,60	0,00	1,32	
	0,30-0,40	17,4	5,15	4,60	0,05	2,34	

**Quadro 3. Resultados das análises de cálcio, magnésio, potássio e soma de bases para as seis trincheiras estudadas**

Solo	Profundidade	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB
	cm	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> de solo			
CC	0-0,025	0,45	0,19	0,15	0,79
	0,025-0,05	0,22	0,02	0,11	0,35
	0,05-0,075	0,13	0,00	0,08	0,21
	0,075-0,10	0,14	0,00	0,06	0,20
	0,10-0,15	0,12	0,00	0,05	0,17
	0,15-0,20	0,10	0,00	0,03	0,13
	0,20-0,30	0,10	0,00	0,02	0,12
	0,30-0,40	0,22	0,00	0,03	0,26
CP	0-0,025	1,58	0,25	0,29	2,12
	0,025-0,05	1,68	0,22	0,21	2,11
	0,05-0,075	1,41	0,17	0,22	1,80
	0,075-0,10	1,73	0,21	0,15	2,19
	0,10-0,15	1,67	0,24	0,12	2,03
	0,15-0,20	1,56	0,22	0,12	1,90
	0,20-0,30	1,36	0,20	0,10	1,66
	0,30-0,40	1,36	0,24	0,04	1,64
GC	0-0,025	0,26	0,02	0,06	0,34
	0,025-0,05	0,14	0,00	0,06	0,20
	0,05-0,075	0,13	0,00	0,06	0,19
	0,075-0,10	0,12	0,00	0,05	0,17
	0,10-0,15	0,13	0,00	0,05	0,18
	0,15-0,20	0,14	0,00	0,05	0,19
	0,20-0,30	0,08	0,00	0,03	0,11
	0,30-0,40	0,10	0,00	0,03	0,13
GPa	0-0,025	1,39	0,89	0,22	2,50
	0,025-0,05	1,06	0,49	0,16	1,71
	0,05-0,075	0,90	0,47	0,11	1,68
	0,075-0,10	0,94	0,18	0,09	1,21
	0,10-0,15	1,01	0,05	0,06	1,18
	0,15-0,20	0,92	0,01	0,06	0,99
	0,20-0,30	0,83	0,00	0,07	0,90
	0,30-0,40	0,89	0,00	0,03	0,92
GP1	0-0,025	1,68	0,42	0,34	2,44
	0,025-0,05	1,67	0,22	0,22	2,11
	0,05-0,075	1,97	0,29	0,18	2,44
	0,075-0,10	2,25	0,42	0,18	2,85
	0,10-0,15	1,93	0,34	0,11	2,38
	0,15-0,20	1,99	0,44	0,14	2,57
	0,20-0,30	1,49	0,36	0,11	1,96
	0,30-0,40	1,07	0,29	0,11	1,47
GP2	0-0,025	2,22	0,40	0,21	2,83
	0,025-0,05	2,34	0,61	0,21	3,17
	0,05-0,075	2,45	0,61	0,16	3,23
	0,075-0,10	2,35	0,70	0,07	3,12
	0,10-0,15	2,08	0,57	0,04	2,69
	0,15-0,20	2,23	0,63	0,03	2,89
	0,20-0,30	2,11	0,66	0,03	2,80
	0,30-0,40	1,33	0,30	0,08	1,61

a grande quantidade de raízes presentes neste solo, além do que esta MORG, por ser de gramínea, apresenta-se mais humificada. Com isto, o efeito de melhoria física provocado pela MORG sobrepôs-se às modificações químicas promovidas pelo uso do solo.

O PCZ revelou comportamento diferente nos locais estudados. Observando o quadro 2, nota-se que, para as trincheiras CC, CP e GC, os valores de PCZ praticamente não variaram dentro das trincheiras, ou seja, não acompanharam os teores de MORG. Já para os outros três locais, GPa, GP1,

GP2, os valores de PCZ aumentaram ao longo da trincheira de maneira clara, tendo, neste caso, possivelmente, uma correlação negativa e significativa com a MORG. Tal variação, no entanto, foi insuficiente para dar uma correlação significativa entre MORG e PCZ, possivelmente pela natureza dessa matéria orgânica que pode estar influenciando mais que sua quantidade.

O PCZ teve correlação negativa e significativa a 1% com a acidez trocável e a potencial. Os coeficientes de correlação foram de -0,6113 e -0,5733, respectivamente, ou seja, o aumento do Al<sup>3+</sup> e do H + Al diminuiu o PCZ.

Em relação aos resultados de ataque sulfúrico (Quadro 5), observa-se que, ao longo das trincheiras, ocorreu um aumento dos teores dos óxidos analisados em profundidade, acompanhando a descida de argila, com exceção do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que apresentou maiores teores na superfície, já que tem como principal fonte a adubação. Pode-se observar isto comparando-se os maiores teores nos solos cultivados em relação àqueles sob vegetação natural. Os óxidos de Al, Fe e Ti não variaram de maneira consistente com o cultivo.

Com relação à formação das camadas adensadas e, ou, compactadas, apenas o SiO<sub>2</sub> teve correlação significativa com algumas variáveis importantes na formação destas. O coeficiente de correlação do SiO<sub>2</sub> com a densidade do solo foi de 0,4152, significativo

**Quadro 4. Resultados dos coeficientes de correlação e níveis de significância da argila dispersa em água (ARGD) e densidade do solo (DSOL) com pH em água, pH em KCl, acidez trocável, potencial, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e soma de bases (SB) para as seis trincheiras estudadas**

Correlação	Coefficiente de Correlação
ARGD/pH H <sub>2</sub> O	0,2963*
ARGD/pH KCl	0,3761**
ARGD/acidez trocável	-0,3680**
ARGD/acidez potencial	-0,4050**
ARGD/Ca <sup>2+</sup>	0,5545**
ARGD/Mg <sup>2+</sup>	0,3500**
ARGD/K <sup>+</sup>	0,1370 <sup>ns</sup>
ARGD/SB	0,4996**
DSOL/pH H <sub>2</sub> O	0,3806**
DSOL/pH KCl	0,4578**
DSOL/acidez trocável	-0,3956**
DSOL/acidez potencial	-0,3334*
DSOL/Ca <sup>2+</sup>	0,6635**
DSOL/Mg <sup>2+</sup>	0,3764**
DSOL/K <sup>+</sup>	0,1580 <sup>ns</sup>
DSOL/SB	0,5964**

\*\* significativos a 1%; \* significativos a 5%; <sup>ns</sup> não-significativos.



**Quadro 5. Resultados das análises de ataque sulfúrico para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para as seis trincheiras estudadas**

Solo	Profundidade m	g kg <sup>-1</sup> de solo				
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
CC	0-0,025	32,5	68,2	52,0	6,3	0,9
	0,025-0,05	36,0	79,6	56,4	7,4	0,8
	0,05-0,075					
	0,075-0,10					
	0,10-0,15	36,5	87,6	64,2	7,4	0,8
	0,15-0,20					
CP	0-0,025	43,5	60,8	46,0	11,2	1,6
	0,025-0,05					
	0,05-0,075					
	0,075-0,10					
	0,10-0,15	45,0	65,4	47,2	12,1	1,1
	0,15-0,20					
GC	0-0,025	37,0	55,1	49,4	9,4	0,8
	0,025-0,05					
	0,05-0,075					
	0,075-0,10	40,5	64,6	60,6	11,4	0,7
	0,10-0,15					
	0,15-0,20					
GPa	0-0,025	40,5	65,8	42,6	12,2	1,5
	0,025-0,05					
	0,05-0,075	43,0	65,8	34,8	12,2	1,1
	0,075-0,10					
	0,10-0,15					
	0,15-0,20					
GP1	0-0,025	39,5	64,0	52,6	10,0	1,9
	0,025-0,05					
	0,05-0,075	38,0	63,7	48,6	9,3	1,9
	0,075-0,10					
	0,10-0,15					
	0,15-0,20					
GP2	0-0,025	32,5	74,0	68,8	7,0	1,4
	0,025-0,05	34,0	74,4	71,0	7,6	1,6
	0,05-0,075					
	0,075-0,10					
	0,10-0,15	34,0	77,1	64,2	7,9	1,3
	0,15-0,20					
	0,20-0,30					
	0,30-0,40	35,5	74,2	67,0	8,8	0,7

a 5%. A explicação para este efeito pode ser dada pela correlação (0,6091) significativa a 1%, que teve o SiO<sub>2</sub> com argila dispersa em água. O SiO<sub>2</sub> pode ter contribuído com aumento de carga negativa do solo e, conseqüentemente, com aumento da argila dispersa em água.

Observou-se que o cultivo trouxe grandes mudanças em alguns atributos químicos dos solos, em relação ao ambiente natural, que estaria em determinado equilíbrio, provocando também mudanças em seus atributos físicos, principalmente na formação das camadas compactadas e, ou,

adensadas. De maneira menos drástica, mas consistente, observaram-se tais mudanças também nos solos sob vegetação natural. Algumas dessas propriedades estudadas podem ser importantes para prever o comportamento desses solos, quando submetidos ao cultivo.

Há necessidade de mais estudos sobre a formação das camadas compactadas e, ou, adensadas, principalmente relacionados com aspectos mineralógicos, formação de amorfos de silício, ferro e alumínio, complexos organo-minerais, além de aprofundar-se nos aspectos físico-químicos do solo.

## CONCLUSÕES

1. Com o aumento da argila dispersa em água, nos solos cultivados, houve um favorecimento de formação das camadas adensadas em subsuperfície.

2. Modificações químicas provocadas pelo cultivo, principalmente com relação à acidez do solo, causaram problemas nas propriedades físicas, efetivamente no que se refere ao aumento da argila dispersa em água.

3. O teor de SiO<sub>2</sub> afetou diretamente a densidade do solo, por meio de seu efeito direto na argila dispersa em água.

## LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C. & PACHECO, E.B. Preparo do solo. *Inf. Agropec.*, 13:40-45, 1987.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Física de suelos. Buenos Aires, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973. 529p.
- COSTA, L.M.; MORAIS, E.J.; RIBEIRO, A.C. & FONSECA, S. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho Amarelo com diferentes coberturas florestais. *R. Ceres*, 31:351-359, 1984.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo: metodologia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- FARIAS, C.A.; COSTA, L.M. & FONTES, L.E.F. Determinação do número de repetições necessárias para análise de argila dispersa em água. *R. Ceres*, 38:505-512, 1991.

- FERNANDES, R.B.A. Influência das características químicas, físicas e mineralógicas na compactação de três Latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 117p. (Tese de Mestrado)
- FONSECA, O.M. Caracterização e classificação de solos latossólicos e podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do terciário no litoral brasileiro. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 185p. (Tese de Mestrado)
- GOMES, T.C.A. Análise de trilha no estudo de fatores físicos e químicos relacionados ao adensamento e, ou, à compactação em dois solos do Norte de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 105p. (Tese de Mestrado)
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 37p. (Tese de Mestrado)
- MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. *Inf. Agropec.*, 13:52-55, 1987.
- OLIVEIRA, T.S. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades físicas e químicas de quatro Latossolos brasileiros. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 104p. (Tese de Mestrado)
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1981. 170p.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C. & MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:241-248, 1991.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Brasília, EPE. Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7)