



Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo

Marco A. de Carvalho¹, Hugo A. Ruiz², Liovando M. da Costa³, Renato R. Passos⁴ & Cícero A. de S. Araujo⁵

¹ IFES, Colatina, ES. E-mail: mcarvalho@ifes.edu.br

² CCA/UFES, Alegre, ES. E-mail: hruiuz@ufv.br (Autor correspondente)

³ DPS/UFV, Viçosa, MG. E-mail: liovandmc@yahoo.com.br

⁴ DPV/CCA/UFES. E-mail: renatoribeirypassos@hotmail.com

⁵ IF Sertão-PE, Petrolina, PE. E-mail: cicero@cetfetpet.br

Palavras-chave:

estrutura do solo
textura
microporosidade
cerrado
milho

RESUMO

Em geral, os Latossolos sob cerrado apresentam distribuição equilibrada do tamanho de agregados podendo sofrer, quando cultivados, alterações com reflexos negativos para a produção agrícola. Com o objetivo de estudar a composição granulométrica, a densidade e a porosidade de agregados de diferentes tamanhos foram retiradas amostras de um Latossolo Vermelho textura argilosa, a duas profundidades (0-5 e 5-10 cm). Os fatores em estudo, analisados separadamente para cada profundidade, foram duas coberturas vegetais (vegetação de cerrado e milho cultivado durante trinta anos) e cinco classes de agregados (2,0-1,0, 1,0-0,5, 0,5-0,25, 0,25-0,105 e < 0,105 mm). Nos materiais separados por via seca se determinaram a proporção, a composição granulométrica e a densidade dos agregados, pelo método do cimento em pó calculando-se a porosidade intra-agregados. As amostras retiradas do solo sob cerrado apresentaram diâmetro médio maior que as retiradas do solo cultivado com milho. Considerando a classe conclui-se que quanto menor o tamanho do agregado maior a proporção de argilas, menor a densidade do agregado e maior a porosidade intra-agregado, devido à exclusão de areias de maior tamanho que o dos agregados da classe em análise.

Key words:

soil structure
texture
micro porosity
cerrado
maize

Particle size distribution, density and porosity of aggregates in an Oxisol under two vegetal covers

ABSTRACT

Cerrado's Oxisols present, frequently, balanced distribution of aggregate size. However, when cultivated, may change with negative consequences for agricultural production. With the aim of studying the particle size distribution, density and porosity of aggregates of different sizes, samples were taken under two soil covers (cerrado vegetation and another area under maize crop for thirty years) in two depths (0-5 and 5-10 cm). The studied factors were the vegetal cover and five aggregate classes (2.0-1.0, 1.0-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.105 and < 0.105 mm), separated by the dry sieving method. In these materials the proportion, particle size distribution and density of the aggregates by the method of cement powder were determined, calculating the porosity intra-aggregate. The cerrado samples showed geometric mean diameter greater than those sampled in soil cultivated with maize. Considering the aggregate class, the smaller size of the aggregate resulted in greater proportion of clays, lower aggregate density and higher intra-aggregate porosity due to exclusion of sand with a size larger than the aggregates of the class in study.

INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas têm o objetivo de produzir alimentos conservando os recursos naturais não renováveis. As técnicas de exploração agrícolas mais difundidas nem sempre permitem atender a este objetivo por promoverem modificações do meio ambiente.

Muitas vezes, a produtividade é comprometida pelo uso inadequado de práticas de manejo passíveis de ocasionar modificações no perfil do solo, destacando-se: a intensidade

de preparo do solo, o tipo de equipamento, o manejo de resíduos vegetais e a umidade do solo, no momento do trabalho (Centurion & Demattê, 1992).

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é uma das propriedades mais importantes. Pode ser definida como o arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas incluindo ainda o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados formados quando partículas primárias se agrupam em unidades separáveis (Ferreira, 2010). Os agregados são componentes da estrutura do solo sendo, portanto, de importância para a

manutenção da porosidade e da aeração, para o crescimento das plantas e dos microrganismos, para a infiltração de água e para a estabilidade necessária à prevenção da erosão (Oades, 1984; Dexter, 1988). Desta forma, percebe-se o caráter dinâmico da estrutura, a qual pode ser modificada caso haja alteração na disposição das partículas dos solos.

As práticas de manejo alteram a estabilidade dos agregados (Bronick & Lal, 2005; Araújo et al., 2010; So et al., 2010; Portella et al., 2012; Wendling et al., 2012; Plaza-Bonilla et al., 2013). Os cultivos sucessivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos, calagens, adubações e maior exposição do solo à ação da chuva e a ciclos de umedecimento e secagem, também promovem redução dos agentes cimentantes, em especial da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (Kay & Munkholm, 2004; Vasconcelos et al., 2010).

No estudo da agregação do solo têm sido utilizados os métodos do peneiramento por via seca e por via úmida (EMBRAPA, 1997) para estimar a estabilidade de agregados; entretanto, além da avaliação da estabilidade de agregados o conhecimento de características dos agregados, tais como a composição granulométrica, a densidade dos agregados (excluindo os espaços interagregados) e a porosidade intra-agregados, são de suma importância para inferir algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como troca de gases, retenção de água, disponibilidade de água e nutrientes e atividade microbiana, de destacada relevância no crescimento e no desenvolvimento das plantas.

Propôs-se, neste trabalho, estudar a proporção, a composição granulométrica, a densidade dos agregados e a porosidade intra-agregados em resposta ao tamanho, em amostras de um Latossolo Vermelho retiradas a duas profundidades (0-5 e 5-10 cm) sob duas coberturas do solo (vegetação natural, cerrado e milho, cultivado por trinta anos).

MATERIAL E MÉTODOS

Na análise de estabilidade de agregados utilizaram-se cinco classes de agregados de um Latossolo Vermelho álico, A moderado, textura argilosa, fase relevo suave ondulado cerrado, originado de ardósia (Grupo Bambuí) sob duas coberturas do solo: cerrado e milho, cultivado durante trinta anos. As amostras de solo foram coletadas em quatro locais diferentes, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. A área em estudo está localizada no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA, Município de Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais, latitude de 19° 28' S, longitude de 44° 15' 08" W Gr, altitude de 732 m.

De cada local de amostragem correspondente a um bloco experimental, foram retirados blocos de solo e amostras deformadas que, após secadas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm, foram utilizadas para caracterização física (Tabela 1).

Os blocos de solo, retirados de cada local de amostragem após secagem ao ar, foram destorroados manualmente aproveitando-se os agregados com diâmetros entre 4,0 e 2,0 mm. Esses agregados foram utilizados para determinar a proporção

Tabela 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Característica	Profundidade (cm)			
	0-5		5-10	
	Cerradão	Milho	Cerradão	Milho
Areia (kg kg ⁻¹) ^{1/}	0,157	0,155	0,145	0,168
Silte (kg kg ⁻¹) ^{1/}	0,138	0,150	0,135	0,150
Argila (kg kg ⁻¹) ^{1/}	0,705	0,695	0,720	0,682
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ^{2/}	0,940	0,960	0,990	0,980
Densidade de partículas (kg dm ⁻³) ^{2/}	2,520	2,500	2,580	2,510
Porosidade (m ³ m ⁻³) ^{2/}	0,626	0,615	0,617	0,611

^{1/}Ruiz (2005).

^{2/}EMBRAPA (1997)

de agregados separados por via seca, utilizando-se peneiras de 1,0, 0,5, 0,25 e 0, 105 mm de malha, em agitador tipo Rotap, de velocidade controlada e movimentos rotatórios com vibração, durante 15 min. Após a determinação da umidade residual desses materiais, calculou-se a proporção de agregados das classes 2,0-1,0, 1,0-0,5, 0,5-0,25, 0,25-0,105 e <0,105 mm.

Posteriormente, os agregados das quatro classes de maior diâmetro foram dispersos com NaOH 0,01 mol L⁻¹ (Ruiz, 2005) separando-se, em cada classe, as areias com diâmetros entre 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25 e 0,25-0,105 mm, respectivamente. Os valores determinados foram utilizados para corrigir a proporção de agregados separados por via seca por subtração dos grãos simples de areia de diâmetro semelhante ao dos agregados em estudo (Eq. 1).

$$x_{Ci} = \frac{(M_i - M_{gsi})}{\sum (M_i - M_{gsi})} \quad (1)$$

em que x_{Ci} é a proporção corrigida de agregados da classe i ; M_i , a massa de agregados e de grãos simples da classe i e M_{gsi} , a massa de grãos simples da classe i .

Com os valores das proporções e das proporções corrigidas de agregados separados por via seca, calculou-se o diâmetro médio geométrico (DMG) para cada determinação, por meio da expressão (Ferreira, 2010):

$$DMG = 10^{\left[\frac{\sum (M_i \log DM_i)}{\sum M_i} \right]} \quad (2)$$

em que DM é o diâmetro médio (centro) da classe i . No cálculo do DMG referente às proporções corrigidas, M_i é substituído por $M_i - M_{gsi}$ na Eq. 2.

Nos agregados de cada classe, separados por via seca, se determinaram a composição granulométrica pelo método da pipeta (Ruiz, 2005) e a densidade das partículas (D_{pA}) pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

A densidade dos agregados (D_A) foi determinada conforme Ruiz et al. (1994) misturando-se, em recipiente de alumínio, 7,5 g de agregados de cada classe com 15 g de cimento comercial com menos de sete dias de fabricação, passado em peneira de 0,105 mm. A mistura foi levada a uma proveta de 25 mL e o conjunto colocado em um agitador tipo Rotap para peneiras,

em plataforma especial, aplicando-se vibrações de intensidade 7 durante 3 min e de intensidade 6 por 2 min, para assegurar uniformidade na intensidade e período de agitação e obter as condições mais uniformes possíveis na acomodação do cimento entre os agregados; a densidade dos agregados foi calculada pelo quociente entre a massa corrigida, subtraindo-se a umidade residual e o volume determinado pela diferença entre o volume da mistura e aquele ocupado pelo cimento. Por restrições metodológicas, a densidade dos agregados foi determinada somente nas quatro maiores classes. Ruiz et al. (1994) comprovaram que o método é efetivo para agregados de diâmetro superior àquele da peneira utilizada para homogeneizar o cimento em pó; enfim, a porosidade intra-agregados (P_{IA}) foi calculada pela Eq. 3.

$$P_{IA} = 1 - \frac{D_A}{D_{PA}} \quad (3)$$

Análises de variância e de regressão foram realizadas para cada profundidade de amostragem comparando-se as duas coberturas de solo e se relacionando as variáveis estudadas com o diâmetro médio dos agregados, para cada uma delas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da proporção e da proporção corrigida de agregados, tal como os respectivos diâmetros médios geométricos (DMG) calculados para as duas coberturas vegetais e as duas profundidades de amostragem, são apresentados na Tabela 2.

Observam-se maiores valores de DMG dos agregados no solo sob cerradão em relação ao cultivado com milho, em virtude da ação dos agentes de desagregação associados às práticas de manejo que atuam no segundo (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado por Rozane et al. (2010) e Wendling et al. (2012) nas profundidades de 0-10 e de

Tabela 2. Proporção e diâmetro médio geométrico de agregados do Latossolo Vermelho considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Classe	Diâmetro médio mm	Profundidade (cm)			
		0-5		5-10	
		Cerradão	Milho	Cerradão	Milho
Proporção de agregados (kg kg ⁻¹)					
2,0 - 1,0	1,5	0,119	0,070	0,145	0,098
1,0 - 0,5	0,75	0,293	0,220	0,312	0,239
0,5 - 0,25	0,375	0,299	0,338	0,295	0,335
0,25 - 0,105	0,1775	0,214	0,273	0,195	0,229
< 0,105	0,0525	0,075	0,099	0,053	0,099
Diâmetro Médio Geométrico (mm) ^{1/}		0,404 A	0,326 A	0,446 A	0,355 B
Proporção corrigida de agregados (kg kg ⁻¹) ^{2/}					
2,0 - 1,0	1,5	0,112	0,065	0,138	0,093
1,0 - 0,5	0,75	0,285	0,213	0,307	0,233
0,5 - 0,25	0,375	0,301	0,337	0,297	0,330
0,25 - 0,105	0,1775	0,221	0,282	0,202	0,237
< 0,105	0,0525	0,081	0,103	0,056	0,107
Diâmetro Médio Geométrico (mm) ^{2/}		0,383 A	0,309 A	0,426 A	0,336 B

^{1/}Letras diferentes na mesma profundidade indicam diferença para cobertura a 0,05 pelo teste F.

^{2/}Corrigida por subtração da proporção de partículas simples correspondentes à mesma classe dos agregados

10-20 cm. Esta tendência é confirmada em profundidade, pelo registro de diferenças estatisticamente significativas (Tabela 2). A exposição maior da camada superficial do perfil aos agentes climáticos e à ação desagregadora desencadeada pelo homem, provoca diminuição do DMG de seus agregados; também leva a uma diferenciação menor em resposta às práticas de manejo devido, fundamentalmente, à maior heterogeneidade dos materiais retirados na superfície dos diferentes locais de amostragem.

É conveniente a correção da proporção de agregados eliminando, por subtração, a proporção de grãos simples associados a cada classe em estudo. As proporções assim recalculadas, levam aos DMG corrigidos apresentados na Tabela 2. Neste caso específico se mantiveram todas as tendências previamente apontadas (Tabela 2) porém é de grande importância destacar que na comparação entre as duas formas de calcular o DMG o corrigido sempre apresentou valor numérico inferior haja vista que na correção se eliminam grãos simples dos agregados. Quanto maior a proporção de grãos simples maior também a diferença numérica entre os DMG calculados pelas duas formas indicadas.

A distribuição do tamanho de agregados em uma amostra de solo pode ser evidenciada ajustando-se equações de regressão. Para representar esta relação de forma contínua, a variável qualitativa classe de agregados foi transformada na variável quantitativa diâmetro médio da classe de agregados, como exemplificado na Tabela 2, procedimento também adotado por Passos et al. (2007).

A Figura 1 mostra as curvas ajustadas considerando-se a cobertura do solo, para cada profundidade. Na Tabela 3 são apresentadas as equações de regressão ajustadas e o diâmetro médio associado à máxima proporção de agregados (DM_M) além das proporções resultantes no valor do DM_M (Y_M). Em todos os casos se observa um deslocamento à esquerda do diâmetro de máxima proporção de agregados para milho evidenciando a desestruturação do solo (Figura 1). Referida constatação é reforçada na comparação da forma das curvas; no cerradão, a aproximação ao ponto de máxima é mais gradual e no milho mais acentuada indicando uma distribuição mais equilibrada da proporção das diversas classes de agregados sob vegetação natural; já na Tabela 3, em que são apresentadas as coordenadas do ponto de máximo das equações da Figura 1, comprova-se, quantitativamente, o mencionado deslocamento à esquerda (menores valores) do diâmetro de máxima proporção de agregados para milho.

A representação gráfica da distribuição da proporção de agregados segundo seu tamanho (Figura 1), com dados ajustados pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 3, é mais adequada que a utilização de índices, como o DMG, para ilustrar o fenômeno (Tabela 2); na amostragem de 0-5 cm de profundidade as curvas ilustram claramente as diferenças entre as coberturas do solo enquanto o DMG não foi estatisticamente diferente para cerradão e milho (Tabela 2).

A correção da proporção de agregados por subtração dos grãos simples não alterou a distribuição do tamanho de agregados nem o diâmetro médio associado à máxima

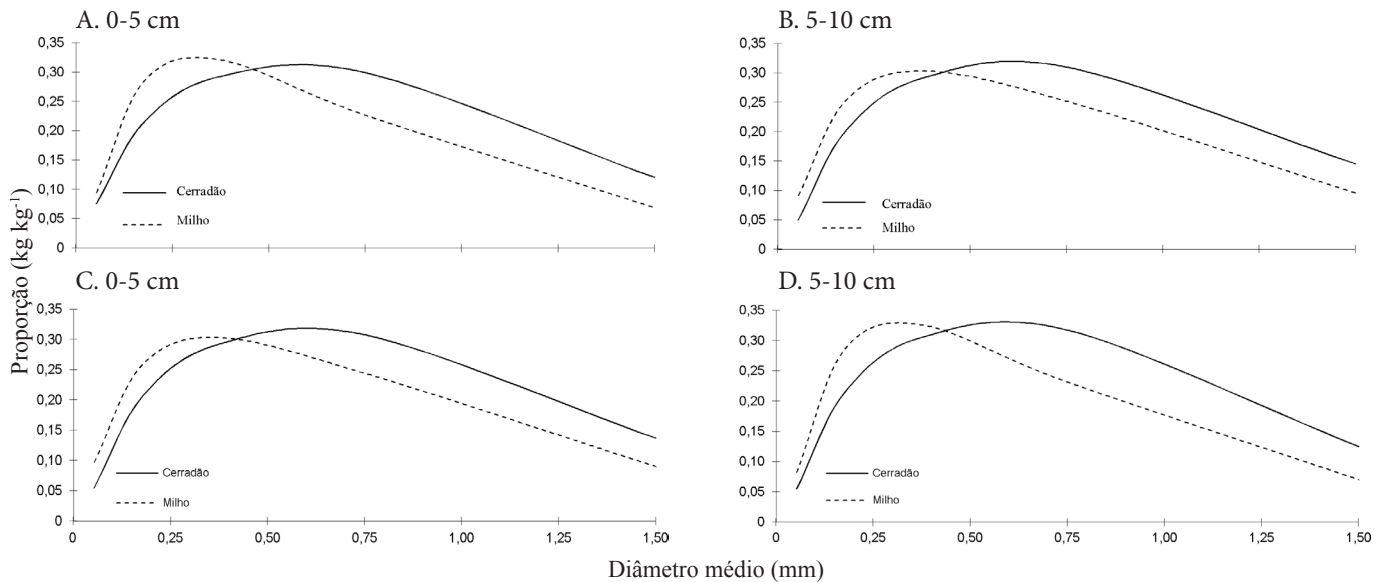


Figura 1. Proporção de agregados (A e B) e proporção de agregados corrigida por subtração da proporção de partículas simples correspondentes à mesma classe de agregados (C e D) considerando-se o diâmetro médio dos agregados, a profundidade de amostragem sob diferentes coberturas do solo

Tabela 3. Equações de regressão relacionando-se a proporção de agregados (\hat{Y}) e a proporção de agregados corrigida por subtração da proporção de partículas simples correspondentes à mesma classe de agregados (\hat{Y}_c), em kg kg^{-1} , com o diâmetro médio dos agregados (DM), em mm, e o diâmetro médio (DM_M) associado à proporção máxima (\hat{Y}_M) de agregados do Latossolo Vermelho, considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Profundidade (cm)	Cobertura	Equação de regressão ^{1/}	R ²	DM _M (mm)	Y _M (kg kg ⁻¹)
0-5	Cerradão	$\hat{Y} = -0,174 + 1,285 DM^{0,5} - 0,855 DM$	0,99	0,565	0,309
	Milho	$\hat{Y} = -0,423 + 3,083 DM^{0,5} - 3,910 DM + 1,405 DM^{1,5}$	0,99	0,323	0,324
5-10	Cerradão	$\hat{Y} = -0,216 + 1,362 DM^{0,5} - 0,871 DM$	0,99	0,612	0,316
	Milho	$\hat{Y} = -0,300 + 2,261 DM^{0,5} - 2,578 DM + 0,814 DM^{1,5}$	0,85	0,385	0,304
0-5	Cerradão	$\hat{Y}_c = -0,162 + 1,266 DM^{0,5} - 0,853 DM$	0,99	0,551	0,308
	Milho	$\hat{Y}_c = -0,440 + 3,218 DM^{0,5} - 4,164 DM + 1,527 DM^{1,5}$	0,99	0,311	0,324
5-10	Cerradão	$\hat{Y}_c = -0,210 + 1,358 DM^{0,5} - 0,877 DM$	0,99	0,599	0,316
	Milho	$\hat{Y}_c = -0,300 + 2,315 DM^{0,5} - 2,713 DM + 0,885 DM^{1,5}$	0,96	0,368	0,303

proporção de agregados (Figura 1 e Tabela 3) devido à proporção relativamente baixa de areia no solo (Tabela 1) e à sua distribuição equilibrada nas diversas classes de agregados, que leva a manter as proporções em valores próximos, independentemente da correção.

Na determinação da composição granulométrica dos agregados observou-se maior proporção de areia e silte no solo cultivado com milho (Tabela 4). Na realidade, este incremento correspondeu à perda de argila em virtude da erosão laminar na área trabalhada em que o solo fica mais exposto ao transporte das partículas de menor tamanho. A desagregação ocasionada pelo revolvimento do solo, pelo tipo de cobertura oferecida pelo milho e pela declividade do local (8%) leva a um incremento da sua erodibilidade. Panachuki et al. (2011) verificaram, trabalhando com diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho, maiores perdas de solo e de água nos tratamentos do preparo com grade aradora em relação aos sistemas mais conservacionistas.

As diferenças estatísticas para a fração areia surgem na amostragem superficial e se confirmam em profundidade. Para

silte e argila, presentes em maiores proporções, as tendências se evidenciam a partir da amostragem entre 5 e 10 cm (Tabela 4) fato este corroborado pelas curvas ajustadas para cerradão e para milho, representadas pelas equações de regressão da Tabela 5.

Na separação dos agregados, nos limites impostos para as diferentes classes nesta pesquisa, areias são naturalmente excluídas com a redução do tamanho dos agregados diminuindo sua proporção na composição granulométrica (Tabelas 4 e 5) o que leva, provavelmente, ao incremento da proporção de silte e argila nos menores agregados (Tabelas 4 e 5) resultados coincidentes com Passos et al. (2007). Desta forma, os agregados < 0,105 mm, mesmo que eventualmente em baixa proporção no perfil do solo (Tabela 2) como ocorreu neste estudo, são de fundamental importância nos processos físico-químicos associados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas.

A maioria dos constituintes minerais do solo, exceto os óxidos de ferro, apresenta valores próximos de densidade; assim, a densidade de partículas dos agregados foi semelhante, independentemente da cobertura do solo e da profundidade de amostragem (Tabela 6). A diminuição do valor desse atributo

Tabela 4. Composição granulométrica de agregados do Latossolo Vermelho considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Classe	Diâmetro médio mm	Profundidade (cm)			
		0-5		5-10	
		Cerradão	Milho	Cerradão	Milho
kg kg ⁻¹					
Areia					
2,0 -1,0	1,5	0,270	0,312	0,254	0,310
1,0 -0,5	0,75	0,221	0,251	0,185	0,238
0,5 -0,25	0,375	0,159	0,171	0,136	0,180
0,25-0,105	0,1775	0,140	0,140	0,121	0,147
<0,105	0,0525	0,039	0,037	0,030	0,032
Média ^{1/}		0,166 B	0,182 A	0,145 B	0,181 A
Silte					
2,0 -1,0	1,5	0,173	0,160	0,137	0,145
1,0 -0,5	0,75	0,226	0,202	0,190	0,202
0,5 -0,25	0,375	0,258	0,268	0,221	0,273
0,25-0,105	0,1775	0,216	0,240	0,207	0,235
<0,105	0,0525	0,275	0,277	0,256	0,277
Média ^{1/}		0,230 A	0,229 A	0,202 B	0,226 A
Argila					
2,0 -1,0	1,5	0,557	0,528	0,609	0,545
1,0 -0,5	0,75	0,553	0,547	0,625	0,560
0,5 -0,25	0,375	0,583	0,561	0,643	0,547
0,25-0,105	0,1775	0,644	0,620	0,672	0,618
<0,105	0,0525	0,686	0,686	0,714	0,691
Média ^{1/}		0,605 A	0,588 A	0,653 A	0,592 B

^{1/}Letras diferentes, na mesma profundidade, indicam diferença para cobertura a 0,05 pelo teste F

físico do solo com o tamanho dos agregados (Tabelas 6 e 7) pode ser atribuída à maior proporção de matéria orgânica nos agregados menores (Passos et al., 2007). Em geral, a densidade de partículas da matéria orgânica varia de 1,3 a 1,5 kg dm⁻³ sendo inferior à das partículas minerais que oscilam de 2,6 a 2,75 kg dm⁻³, chegando a até 5,0 kg dm⁻³ quando considerados os óxidos de ferro (Hao et al., 2008).

Observa-se, independentemente da cobertura vegetal, que em todos os casos a densidade dos agregados (Tabela 6) é superior à densidade do solo amostrado na mesma profundidade (Tabela 1). Esta diferença é devida à presença de macroporos entre os agregados, que incrementa o volume de espaços vazios nas amostras de solo com estrutura preservada. A estrutura maciça porosa típica dos Latossolos leva à distribuição não uniforme do tamanho de poros no perfil com predominância dos poros

Tabela 5. Equações de regressão relacionando-se a proporção de areia, silte e argila em agregados (\hat{Y}), em kg kg⁻¹, com o diâmetro médio dos agregados (DM) do Latossolo Vermelho, em mm considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Fração textural	Profundidade (cm)	Cobertura	Equação de regressão	R ²
Areia	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = 0,240 + 0,154 \log(\text{DM})$	0,98
		Milho	$\hat{Y} = 0,272 + 0,186 \log(\text{DM})$	0,99
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 0,214 + 0,144 \log(\text{DM})$	0,97
		Milho	$\hat{Y} = 0,270 + 0,184 \log(\text{DM})$	0,99
Silte	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = 1/(3,754 + 1,242 \text{ DM})$	0,75
		Milho	$\hat{Y} = 1/(3,512 + 1,799 \text{ DM})$	0,93
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 1/(3,947 + 2,128 \text{ DM})$	0,94
		Milho	$\hat{Y} = 1/(3,396 + 2,288 \text{ DM})$	0,92
Argila	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = 0,784 - 0,450 \text{ DM}^{0,5} + 0,216 \text{ DM}$	0,98
		Milho	$\hat{Y} = 0,534 - 0,112 \log(\text{DM})$	0,96
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 0,768 - 0,271 \text{ DM}^{0,5} + 0,116 \text{ DM}$	0,99
		Milho	$\hat{Y} = 0,546 + 0,008/\text{DM}$	0,92

Tabela 6. Densidade de partículas, densidade de agregados e porosidade intra-agregados do Latossolo Vermelho considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Classe	Diâmetro médio mm	Profundidade (cm)			
		0-5		5-10	
		Cerradão	Milho	Cerradão	Milho
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)					
2,0 -1,0	1,5	2,56	2,50	2,59	2,61
1,0 -0,5	0,75	2,55	2,56	2,62	2,62
0,5 -0,25	0,375	2,53	2,52	2,51	2,50
0,25-0,105	0,1775	2,52	2,47	2,48	2,43
Média ^{1/}		2,54 A	2,51 A	2,55 A	2,54 A
Densidade de agregados (kg dm ⁻³)					
2,0 -1,0	1,5	1,38	1,48	1,44	1,50
1,0 -0,5	0,75	1,30	1,61	1,46	1,50
0,5 -0,25	0,375	1,38	1,42	1,35	1,50
0,25-0,105	0,1775	1,24	1,39	1,25	1,45
Média ^{1/}		1,33 B	1,48 A	1,38 B	1,49 A
Porosidade intra-agregados (m ³ m ⁻³)					
2,0 -1,0	1,5	0,464	0,411	0,442	0,426
1,0 -0,5	0,75	0,488	0,372	0,440	0,423
0,5 -0,25	0,375	0,454	0,437	0,462	0,400
0,25-0,105	0,1775	0,508	0,448	0,497	0,409
Média ^{1/}		0,479 A	0,417 B	0,460 A	0,415 B

^{1/}Letras diferentes na mesma profundidade indicam diferença para cobertura a 0,05 pelo teste F

grandes (interagregados) e dos pequenos (intra-agregados) em detrimento dos poros médios (Oliveira et al., 2004; Carducci et al., 2011). Os grandes poros não são incluídos na determinação da densidade dos agregados mas sim na densidade do solo.

Coerente com a diferenciação textural observada em resposta à cobertura do solo (Tabela 4) os agregados retirados da área cultivada com milho, mais arenosos, apresentaram os maiores valores de densidade para todas as profundidades de amostragem (Tabela 6). Atribuem-se esses resultados às características texturais e não ao efeito de compactação decorrente das práticas de manejo de vez que, no segundo caso, seria mais afetada a porosidade dos interagregados. Em consequência se esperariam alterações na densidade do solo e não na densidade dos agregados. A compactação praticamente não afetaria o tamanho dos microporos localizados no interior dos agregados caso em que, mesmo provocando a quebra dos agregados, sua densidade não seria alterada. Quando os

Tabela 7. Equações de regressão relacionando-se a densidade de partículas (D_p) em kg dm^{-3} , a densidade de agregados (D_A) em kg dm^{-3} e a porosidade intra-agregados (P_{IA}), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, (\hat{Y}) com o diâmetro médio dos agregados (DM) do Latossolo Vermelho, em mm, considerando-se a profundidade de amostragem e a cobertura do solo

Característica	Profundidade (cm)	Cobertura	Equação de regressão	R ²
D_p	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = 2,564 + 0,080 \log(\text{DM})$	0,94
		Milho	$\hat{Y} = 2,200 + 0,817 \text{DM}^{0,5} - 0,463 \text{DM}$	0,99
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 2,232 + 0,714 \text{DM}^{0,5} - 0,340 \text{DM}$	0,95
		Milho	$\hat{Y} = 2,106 + 0,940 \text{DM}^{0,5} - 0,426 \text{DM}$	0,98
D_A	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,33$	
		Milho	$\hat{Y} = 1,243 + 0,750 \text{DM} - 0,395 \text{DM}^2$	0,85
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 1,145 + 0,648 \text{DM} - 0,299 \text{DM}^2$	0,99
		Milho	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,49$	
P_{IA}	0-5	Cerradão	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,479$	
		Milho	$\hat{Y} = 0,497 - 0,252 \text{DM} + 0,129 \text{DM}^2$	0,88
	5-10	Cerradão	$\hat{Y} = 0,521 - 0,171 \text{DM} + 0,079 \text{DM}^2$	0,97
		Milho	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,415$	

dados experimentais permitiram ajustar equações de regressão verificou-se, daí, diminuição da densidade com o tamanho dos agregados (Tabela 7).

Visto ser a porosidade dos agregados calculada pela relação das densidades (Eq. 3) e de vez que não houve diferenças para a cobertura vegetal na determinação da densidade de partículas, os valores dessa porosidade acompanharam, de forma inversa, os valores observados para a densidade dos agregados (Tabela 6). Quando os dados experimentais permitiram ajustar equações de regressão registrou-se o incremento da porosidade dos agregados com a diminuição do seu tamanho (Tabela 7).

CONCLUSÕES

1. Amostras retiradas do solo sob vegetação natural, cerradão, apresentaram agregados maiores que as retiradas do solo cultivado com milho, durante trinta anos.
2. Utilizando-se a representação gráfica da distribuição do tamanho de agregados, o diâmetro médio de cada classe foi mais adequada que a comparação de índices, como o diâmetro médio geométrico, para ilustrar o fenômeno.
3. A diminuição do tamanho dos agregados, por excluir as frações granulométricas mais grosseiras, e a vegetação natural por preservar a presença das partículas mais finas no sistema, provocaram incremento na proporção de argila e, como consequência, os agregados menores apresentaram menor densidade e maior porosidade intra-agregados.

LITERATURA CITADA

- Araújo, F. S.; Salviano, A. A. C.; Leite, L. F. C.; Souza, Z. M.; Sousa, A. C. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.717-723, 2010.
- Bronick, C. J.; Lal, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v.124, p.3-22, 2005.
- Carducci, C. E.; Oliveira, G. C.; Severiano, E. C.; Zeviani, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.77-86, 2011.
- Centurion, J. F.; Demattê, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: Efeitos nas propriedades físicas e no cultivo do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, p.315-324, 1992.
- Dexter, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Research*, v.11, p.199-238, 1988.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- Ferreira, M. M. Caracterização física do solo. In: Lier, Q. de J. van. Física do solo. Viçosa: SBCS, 2010. p.1-27.
- Hao, X.; Ball, B. C.; Culley, J. L. B.; Carter, M. R.; Parkin, G. W. Soil density and porosity. In: Carter, M. R.; Gregorich, E. G. Soil sampling and methods of analysis. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. p.743-759.
- Kay, B. D.; Munkholm, L. J. Management-induced soil structure degradation – organic matter depletion and tillage. In: Schjøning, P.; Elmholt, S.; Christensen, B. T. Managing soil quality: Challenges in modern agriculture. Tjele, Denmark: CABI Publishing, 2004. p.185-197.
- Oades, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, v.76, p.319-337, 1984.
- Oliveira, G. C.; Dias Junior, M. S.; Resck, D. V. S.; Curi, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.327-336, 2004.
- Panachuki, E.; Bertol, I.; Alves Sobrinho, T.; Oliveira, P. T. S.; Rodrigues, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1777-1785, 2011.
- Passos, R. R.; Ruiz, H. A.; Cantarutti, R. B.; Mendonça, E. de S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1109-1118, 2007.
- Plaza-Bonilla, D.; Cantero-Martínez, C.; Viñas, P.; Álvaro-Fuentes, J. Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. *Geoderma*, v.193, p.76-82, 2013.

- Portella, C. M. R.; Guimarães, M. F.; Feller, C.; Fonseca, I. C. B.; Tavares Filho, J. Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1868-1877, 2012.
- Rozane, D. E.; Centurion, J. F.; Romualdo, L. M.; Taniguchi, C. A. K.; Trabuço, M.; Alves, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. *Bioscience Journal*, v.26, p.24-32, 2010.
- Ruiz, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300, 2005.
- Ruiz, H. A.; Alves, J. F.; Martins, L. G. C. Densidade de agregados separados dos horizontes A e B de um LV e de PVc. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação de Solo e da Água*, 10, 1994, Florianópolis. Resumos... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.332-333.
- So, H. B.; Grabski, A.; Desborough, P. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. *Soil and Tillage Research*, v.104, p.180-184, 2009.
- Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Oliveira, V. S.; Costa, Y. D. J. da; Cavalcante, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.309316, 2010.
- Wendling, B.; Freitas, I. C. V.; Oliveira, R. C.; Babata, M. M.; Borges, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Bioscience Journal*, v.28, p.256-265, 2012.