

FRACIONAMENTO DE AGREGADOS

Procedimento para uma Estimativa Compartimentada do Seqüestro de Carbono no Solo

Beáta Emöke Madari¹

Introdução

A importância da agregação do solo

O estado de agregação do solo tem influência sobre a infiltração de água, a biodiversidade, a dinâmica da biomassa do solo, a disponibilidade de oxigênio às raízes e a erosão do solo (Deneff *et al.*, 2001; Franzluebbers, 2002a, b). A distribuição das classes ou tamanhos de agregados é considerada um fator importante para a germinação de sementes e para o desenvolvimento das raízes (Braunack & Dexter, 1989; Freitas *et al.*, 1999). A estabilidade de agregados é um fator relevante no controle da erosão hídrica em solos tropicais ácidos (Roth *et al.*, 1986; Castro Filho *et al.*, 1991), pois a erodibilidade de solos é diretamente relacionada à estabilidade de agregados em água (Kemper & Roseneau, 1986). A prolongada existência de poros maiores no solo, que favorecem altas taxas de infiltração e aeração, depende da estabilidade dos agregados. A agregação do solo é também um dos principais processos responsáveis pela acumulação e o seqüestro de carbono em solos (Lal *et al.*, 1997). Conseqüentemente, a degradação estrutural do solo resulta em perda de matéria orgânica e carbono.

Castro Filho *et al.* (1998) observaram que a agregação de solos tropicais ácidos é influenciada pela (a) capacidade de floculação do solo e natureza dos cátions presentes; (b) química do alumínio em função da faixa de pH do solo; (c) mineralogia do solo; (d) tipos de ácidos orgânicos presentes; (e) formação de interação ou ligação entre partículas de argila, cátions polivalentes e matéria orgânica e (f) atividade microbiana e tipos de microrganismos envolvidos.

Definição de agregado

Um agregado é um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas (Kemper & Rosenau, 1986). Comporta-se mecanicamente como uma unidade estrutural. Se formado naturalmente é denominado ped, apresenta diferentes formas morfológicas (prisma, bloco, grânulo) e tamanhos. Se formado artificialmente pela atividade do homem ao arar, escavar etc. é denominado torrão (Curi *et al.*, 1993). O solo é composto de um conjunto de agregados de diferentes tamanhos e de estabilidade.

Solos contendo principalmente óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, e caulinita, por exemplo Latossolos, comumente encontrados no Brasil, formam uma microestrutura típica que apresenta alta estabilidade devido à força de adesão entre as partículas. Os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro que em baixo pH tem carga superficial positiva conjuntam com as partículas de caulinita que possuem carga superficial negativa. O tamanho destes conjuntos de partículas geralmente está na faixa de tamanho de areia ("areia falsa"), e o solo que tem estas estruturas em muitos aspectos se comporta similarmente a um solo arenoso, por exemplo tem excelente capacidade para drenagem de água, apesar de muitas vezes ser muito argiloso (70-80% de argila).

¹Pesquisadora, PhD, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP: 22460-000. Rio de Janeiro, RJ. E-mail: beata@cnpns.embrapa.br.

Métodos tradicionais de fracionamento de agregados para a determinação da distribuição e da estabilidade de agregados no solo

Com fracionamento, os agregados são separados em grupos de diferentes tamanhos estáveis sob a força destrutiva aplicada. Para fins de classificação de agregados naturais por tamanho, os limites de diâmetro das classes da escala variam com o tipo (morfologia) dos agregados (peds). Para fins de avaliações agrônomicas, a separação de agregados por tamanho (classificação agrônômica) é geralmente feita por escalas operacionalmente estabelecidas.

Apesar de não existir um método padrão de amostragem e fracionamento de agregados (Díaz-Zorita *et al.*, 2002), os métodos comumente usados são concordantes no princípio básico da separação dos agregados. Normalmente, como índice de estrutura do solo no campo, a estabilidade de agregados (baseado na estabilidade de uma classe de agregados pré-separados) é usado em vez da distribuição de agregados em base no volume inteiro do solo. Isto porque os resultados de análise de estabilidade são correlacionados com a distribuição de agregados, a capacidade dos agregados de resistir à força destrutiva é um fator importante em relação ao fenômeno estudado, e um procedimento mais simples de tamisação pode ser adaptado para a medição da estabilidade de uma classe de agregados (Kemper & Rosenau, 1986). Assim, normalmente, a separação de agregados para a avaliação da estabilidade de agregados do solo por tamisação úmida é feito a partir de uma determinada classe de agregados pré-separada.

Este é o princípio do método desenvolvido por Yoder (1936), o qual é amplamente utilizado em estudos de agregação com menores ou maiores modificações (por exemplo Kemper & Rosenau, 1986; Embrapa, 1997). Pelo método da Embrapa (1997), a pré-separação é feita por passar o solo seco em peneira de 4 mm de abertura da malha. A avaliação da estabilidade de agregados do solo por tamisação úmida é feito a partir da classe de agregados 2-4 mm, pré-separada.

Método proposto de fracionamento de agregados para a estimativa compartimentada do seqüestro de carbono no solo

Objetivo

O objetivo foi criar um procedimento de fracionamento de agregados do solo que permitisse a avaliação de acúmulo compartimentado de carbono no solo nos diferentes tamanhos de agregados, refletindo o melhor possível o estado real no solo. O método visa possibilitar uma avaliação do efeito de diferentes tipos de manejo no seqüestro de carbono no solo através seus efeitos na dinâmica da taxa de transformação de agregados no solo.

Princípio básico

O princípio básico deste procedimento é a avaliação da estabilidade de agregados através da distribuição de agregados no solo inteiro, e não através a estabilidade de uma classe de agregados.

Na separação de agregados por tamisação úmida, há a necessidade de se utilizar pelo menos três repetições, uma vez que a distribuição de agregados no solo é bastante variável.

Amostragem e pré-tratamento das amostras no campo

Equipamentos

- peneira de abertura de 19 mm e diâmetro de 210 mm, com fundo;
- espada;
- colher de pedreiro;
- metro;
- saco plástico;
- caixa de papel grossa separadamente para cada amostra (por exemplo a caixa tipo 2 dos Correios servem).

Procedimento (Figura 1)

A amostragem é de extrema importância em estudos de agregação do solo. É importante tentar evitar qualquer incidência que possa alterar as propriedades originais de agregação do solo.

1. Preparar uma mini-trincheira. O tamanho da trincheira depende da profundidade da amostragem. A trincheira deve ser mais profunda de que o último nível de amostragem.
2. Tirar as amostras com a ajuda de um colher de pedreiro numa maneira representativa para a profundidade inteira. Pretender tirar bloco representando a profundidade amostrada (Figura 1a).
3. Colocar a amostra diretamente na peneira de 19 mm e coletar em saco plástico o solo que passa a peneira. A peneira pode ser levemente agitada e, se for necessário, pequena força pode ser exercida com a mão para ajudar a desagregação de torrões maiores (Figura 1b e 1c).
4. Secar as amostras ao ar em sombra até atingirem 10-15% umidade.

Separação dos agregados estáveis em água por tamanho

Vidrarias etc.

As quantidades referem ao processamento de uma amostra.

- 1 filtro de papel, de diâmetro igual ao das peneiras do aparelho de oscilação vertical;
- 1 espátula de metal ou plástico;

- 8 recipientes ou béqueres de 100 mL quais agüentem alta temperatura;
- 1 bandeja de metal;
- 1 dessecador sob vácuo.

Equipamentos (Figura 2)

- Aparelho de oscilação vertical;
 - 1 série de 8 peneiras de tamanhos de abertura da malha de 7,8-mm, 4-mm, 2-mm, 1-mm, 0,5-mm, 0,25-mm, 0,125-mm e 0,053-mm com diâmetro de 125 mm;
 - 2 cilindros de metal ou plástico;
- pia com água corrente;
- estufa com ar forçado;
- balança analítica de 4 casas decimais.

Procedimento

1. Pesar 8 béqueres de 100mL em balança analítica (precisão: 0,01g).
2. Encher os cilindros do aparelho de oscilação vertical.
3. Colocar um papel de filtro na primeira peneira (8-mm).
4. Ajustar o nível da água ou a altura da série de peneiras para que o papel de filtro entre em contato com a superfície da água.
5. Pesar e colocar 30,00g representativo do solo em cima do papel de filtro.
6. Deixar o solo em cima do papel de filtro durante 5 minutos para que o solo possa absorver água pela força de capilaridade e em seguida retirar, cuidadosamente, o papel de filtro com a ajuda de uma pinça.
7. Executar tamisação durante 15 min; a oscilação vertical do aparelho é 35 mm é o número de repetição de uma fase é 30 por min.
8. Tirar, cuidadosamente, a série de peneiras da água e a levar a uma pia com água corrente.
9. Transferir, com a ajuda de corrente lenta de água, os agregados de cada uma peneira para um béquer separadamente para cada classe de agregados.
10. Colocar os béqueres com os agregados numa estufa com ar forçado para secar a 105°C; a secagem deve continuar até uniformidade de peso.
11. Transferir os béqueres com os agregados num dessecador sob vácuo e os deixar resfriar à temperatura de ambiente (25°C).
12. Pesar os béqueres com os agregados na balança analítica (precisão: 0,01g).

Cálculos

O estado de agregação do solo é expresso, tradicionalmente, por índices de agregação que caracterizam a distribuição dos diferentes tamanhos de agregados que compõem o solo: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Índice de Estabilidade de Agregados (IEA). O DMP é uma estimativa da quantidade relativa de solo em cada classe de agregados e é expresso em milímetros. Este índice aumenta quando aumenta a porcentagem dos maiores agregados. O DMG mostra o tamanho mais freqüente dos agregados. Também é expresso em milímetros. O Índice de Estabilidade de Agregados é uma medida da agregação do solo, como total, e varia entre 0 e 100 % (Castro Filho *et al.*, 2002).

O *Diâmetro Médio Ponderado* (DMP) dos agregados (Kemper & Rosenau, 1986):

$$DMP = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

w_i = proporção de cada classe de agregados em relação ao total;

x_i = diâmetro médio de cada classe de agregados.

O *Diâmetro Médio Geométrico* (DMG) dos agregados (Kemper & Rosenau, 1986):

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$$

w_i = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio x_i .

O *Índice de Estabilidade de Agregados* (IEA) do solo (Castro Filho *et al.*, 1998):

$$IEA = \frac{\text{Peso da amostra seca} - \text{wp25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} 100$$

wp25 = peso dos agregados <0,25 mm (g).

areia = peso de partículas de diâmetro entre 2,0 – 0,053 mm (g).

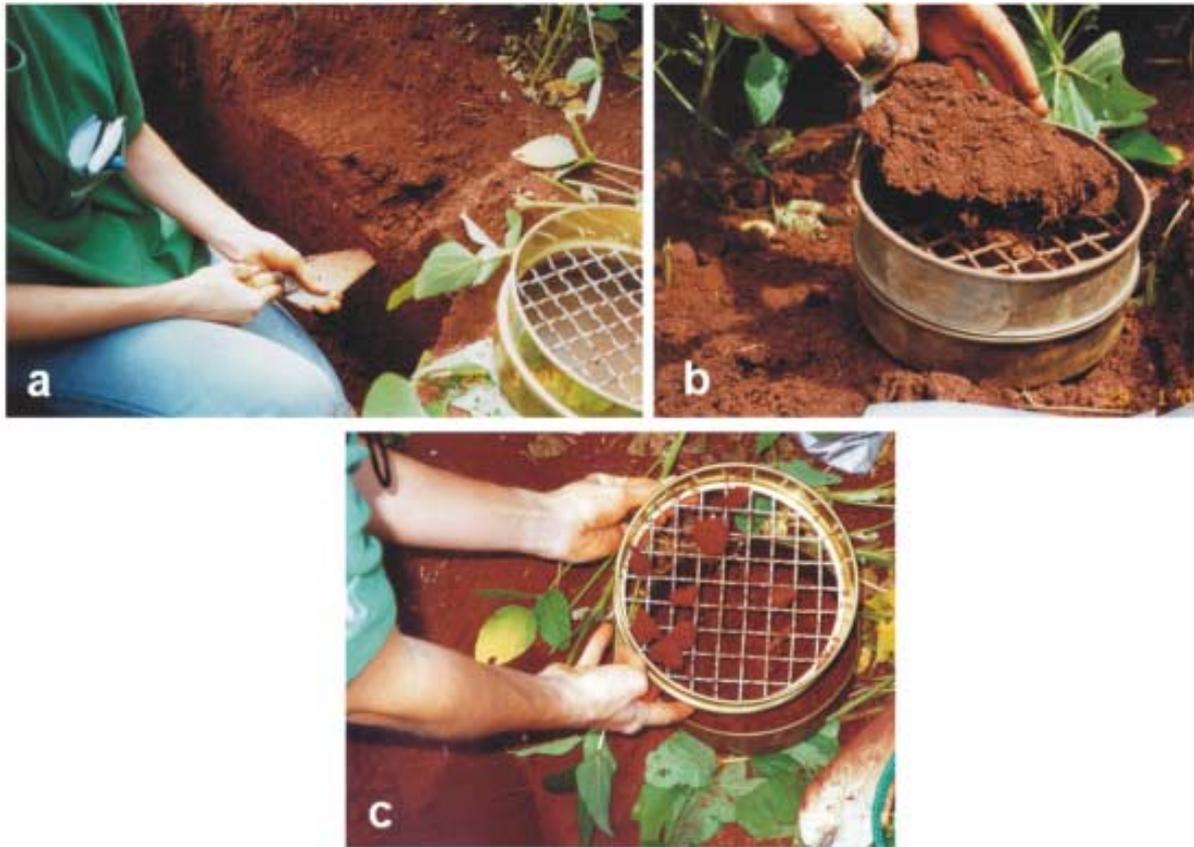


Figura 1. Etapas do procedimento de amostragem no campo.



Figura 2. Aparelho de oscilação vertical e a série de peneiras.

Estudo de caso

Além dos fatores inorgânicos, a matéria orgânica do solo, viva e morta, exerce um papel chave na formação e estabilização de agregados (Dutartre *et al.*, 1993; Gijsman, 1996). Six *et al.* (1999) demonstraram, em um Mollisol, solo que demonstra hierarquia na agregação, ou seja, agregados menores se juntam formando agregados maiores, que o estado de agregação do solo afetou a acumulação de carbono orgânico através da proteção da matéria orgânica dentro dos agregados. Principalmente os macroagregados (> 0,250 mm) protegem, fisicamente, a matéria orgânica do solo que não está ou está parcialmente decomposta (fração leve intra-agregado da matéria orgânica do solo). Esta fração da matéria orgânica é uma das mais lábeis que, exposta à atividade microbiana, mostra alta taxa de decomposição. Dependendo da taxa de transformação dos macroagregados (rapidez com que se desintegram em agregados menores ou partículas) diferentes proporções da fração leve intra-agregado da matéria orgânica se transformam pelo processo de humificação, e se redistribuem em formas mais estáveis e em outros compartimentos (microagregados) que garantem a sua estabilização no solo. Se a taxa de transformação dos macroagregados for relativamente rápida, ou seja, se existir um mecanismo que seja responsável pela desintegração dos agregados, a matéria orgânica localizada dentro dos agregados tornar-se-á desprotegida e exposta a rápida decomposição microbiana. Estes mecanismos se aplicam na prática nos diferentes sistemas de plantios que, por seus efeitos diferentes na taxa de transformação dos macroagregados do solo, afetam, diferenciadamente, a taxa de transformação da matéria orgânica e, conseqüentemente, a acumulação do carbono no solo (Fig. 3).

Estudos de Oades & Waters (1991) sugeriram que, em solos com mineralogia dominada por óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro e de caulinita (ex. Latossolos), onde uma hierarquia entre os agregados do solo não é evidente, os principais agentes de estabilização de agregados são os componentes da fase mineral do solo. Portanto, é esperado que, em solos similares, o estado de agregação do solo seja um fator de menor importância na acumulação de matéria orgânica.

Contudo, estudos recentes sobre o efeito de sistemas de manejo (plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)) na acumulação de carbono orgânico no solo num Latossolo Vermelho eutroférico (Tabela 1), num experimento de campo de longa duração (21 anos), mostraram que os sistemas de manejo, pelo seu efeito diferenciado no estado de agregação e na estrutura do solo, exerceram efeitos diferenciados na acumulação de carbono orgânico (Madari *et al.*, 2005). Este efeito foi revelado pela aplicação do método de separação de agregados acima descrito, que leva em consideração que os solos tropicais, em geral, são originalmente bem estruturados, têm altos índices de estabilidade de agregados

(ex. Latossolos) (Lal, 2000), e que a distribuição dos tamanhos de agregados estáveis em água pode ser grande. Os resultados do mesmo estudo, cujo arranjo experimental foi em blocos inteiramente casualizados com 3 repetições, indicaram que o PD, em profundidade 0-5 cm, em comparação com o PC, além de promover a inclusão da massa do solo em macroagregados (IEA) promove, simultaneamente, o aumento do diâmetro de agregados (DMG) e da proporção do solo em maiores classes de agregados (DMP) (Fig. 4). O mesmo tipo de solo sob floresta secundária foi também examinada como referência aos dois tipos de manejo do solo. Foi constatado, que o solo estudado sob floresta mostrou valores elevados para os índices de agregação do solo (IEA, DMG, DMP) comparado aos dois sistemas de manejo (PD e PC) (Fig. 4). Também foi demonstrado que o sistema PD, comparado com o PC, através da promoção de melhor agregação no Latossolo Vermelho eutroférico na camada de 0-5 cm, aumentou a capacidade do solo para acumular carbono orgânico dentro de todas as classes de agregados, e que no solo sob floresta acumulou mais carbono orgânico em cada classe de agregados do que no solo sob cultivo (Fig. 5).

A correlação dos parâmetros que descrevem a distribuição das classes de agregados (índices de agregação: IEA, DMG, DMP) com o carbono orgânico total dos solos inteiros (Tabela 2) e de cada classe de agregados (Tabela 3) foi feita para avaliar a interdependência entre as propriedades de agregação e o teor do carbono orgânico do solo. A Tabela 2, mostrando razoável correlação ($r > 0,79$) entre os índices de agregação e o teor do carbono orgânico dos solos inteiros somente na camada 0-5 cm, indica que examinando o teor de carbono orgânico somente no solo inteiro não revela as relações existentes entre a matéria orgânica do solo e o estado de agregação do solo. No entanto, a Tabela 3 mostra que forte correlação foi encontrada entre os índices de agregação e o teor do carbono orgânico de várias classes de agregados em todas as profundidades. Boa correlação foi encontrada ($r > 0,80$) na camada de 0-5 cm entre todos os índices de agregação e o teor de carbono da maior classe de agregados (19-8 mm). Em profundidades maiores, enquanto o índice IEA mostrou apenas razoável correlação (entre 0,65 e 0,77), o DMP e o DMG continuaram ter boa correlação (entre 0,81 e 0,97) com o teor de carbono desta mesma classe de agregados. Isto indica que o carbono orgânico é importante na formação e estabilização de agregados grandes (8-19 mm). Não foi encontrada boa e coerente correlação entre o teor de carbono das classes de agregados 4-8 e 2-4 mm. Correlação negativa foi encontrada para a classe 1-2 mm embora não em todas as profundidades. Correlação positiva foi recordada para os grandes macroagregados e negativa para os microagregados (0,250 – 0,053 mm), mostrando que com o aumento do carbono orgânico aumentou a quantidade de solo nos agregados maiores. Isto resultou na diminuição da proporção dos microagregados, e conseqüentemente, no aumento dos valores obtidos para os índices de agregação.

As mesmas investigações foram feitas utilizando resultados obtidos com o método de fracionamento utilizado pela Embrapa Solos (Embrapa, 1997). Este método de princípio tradicional também não resultou em correlação significativa entre o teor de carbono das classes de agregados de 2-4 e

1-2 mm (neste método a maior classe de agregados separada foi a de 2-4 mm) e os índices de agregação do solo (Madari *et al.*, 2005). Isso mostrou que o método testado no presente trabalho não produziu artefatos durante o processo de separação de agregados.

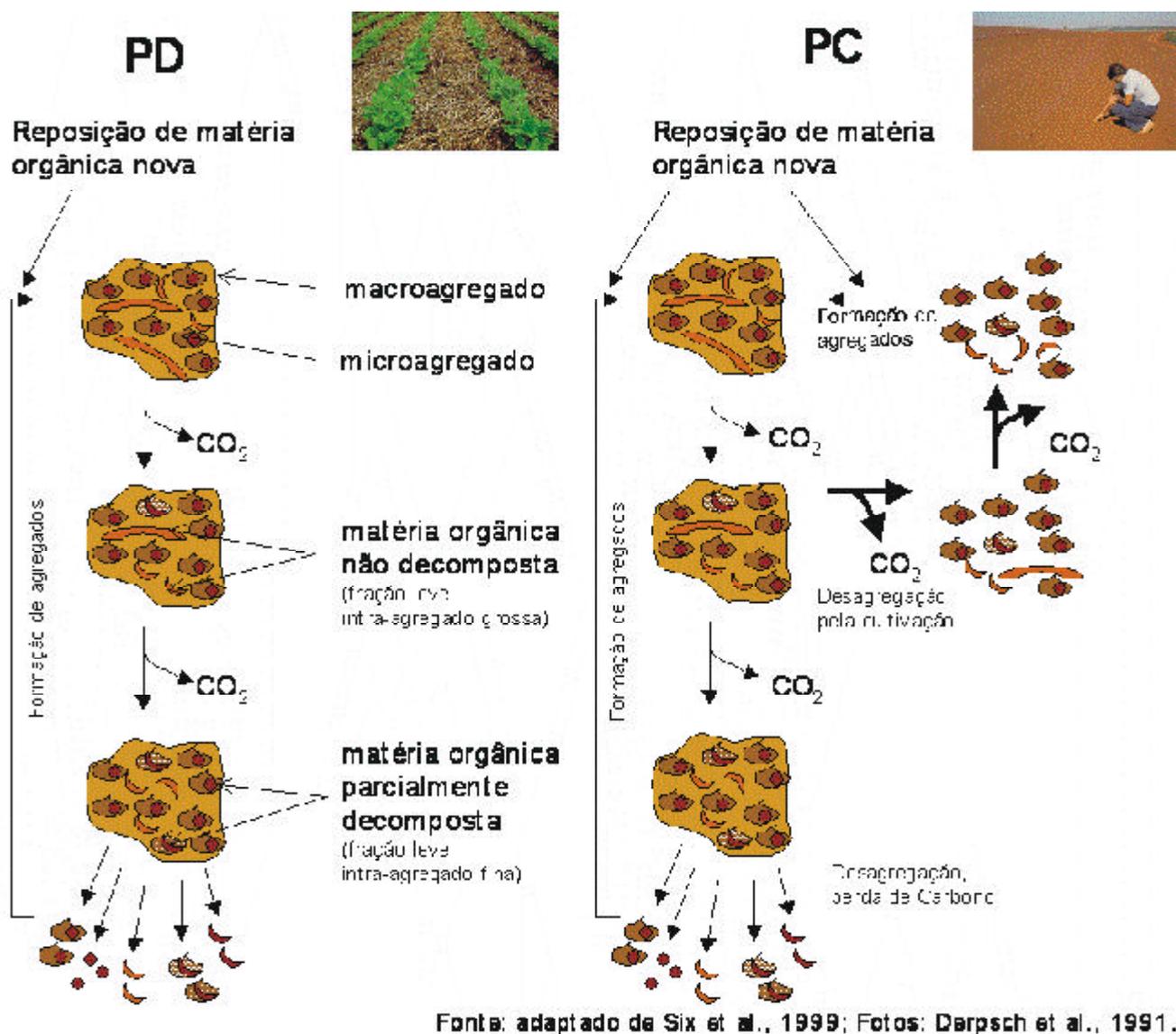


Figura 3. Transformação da matéria orgânica do solo sob plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) influenciada pela dinâmica de transformação dos agregados.

Tabela 1. Propriedades químicas, físicas e mineralógicas do Latossolo Vermelho eutroférico, Londrina.

Tratamento	Propriedades químicas						Distribuição de partículas			
	pH _{H2O}	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	Areia	Silte	Argila
		----- cmol.c.dm ⁻³ -----				----- mg.kg ⁻¹ -----		----- g.kg ⁻¹ -----		
Floresta	6,3	0,1	4,5	14,9	2,6	0,58	30	63	211	726
PD	5,5-6,2	0,1	5,3	5,3	2,0	0,52	575	42	192	766
PC	5,9-6,8	0,1	4,8	5,7	2,9	0,28	258	38	162	800

Nota: PD: plantio direto; PC: plantio convencional (aração com disco e duas gradagens leves niveladoras).

Mineral predominante da fração argila: caulinita; outros minerais em quantidades menores: gibbsita, hematita e vermiculita.

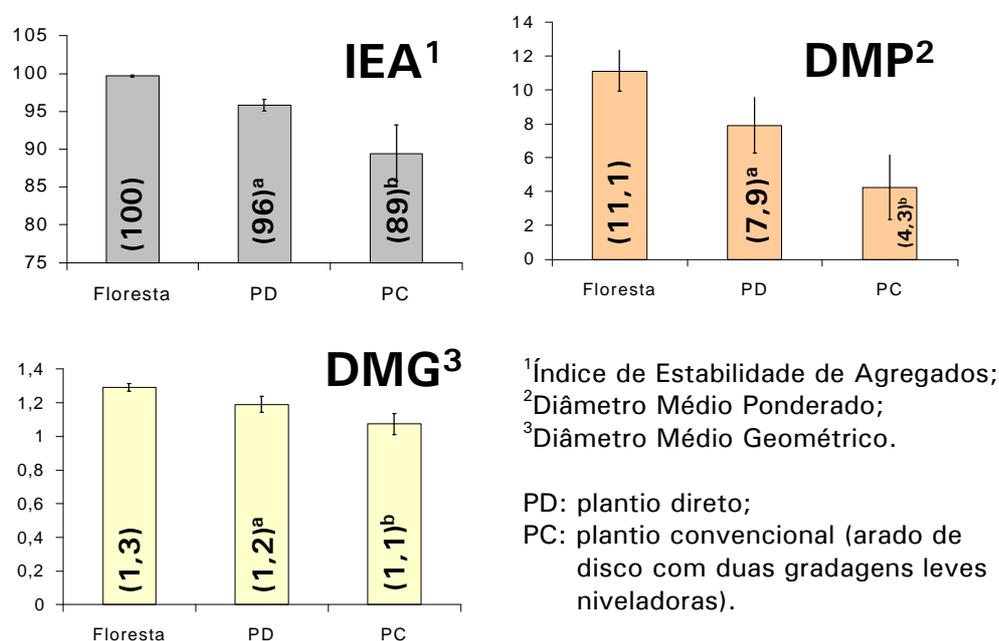


Figura 4. Efeito de tipo de preparo do solo (PD e PC) nos índices de agregação (IEA, DMP, DMG), em 0-5 cm, de um Latossolo Vermelho eutroférico, Londrina, Paraná. Comparação de médias foi feita pelo teste Tukey ($p=0,01$). Valores em parênteses são médias e as barras de erro desvio padrão ($n=3$). Pacote de software estatístico usado: SAS (SAS Institute, 1990). As amostras coletadas da floresta, como não fizeram parte do arranjo experimental do PD e PC (blocos inteiramente casualizados com 3 repetições), não foram incluídas no teste de Tukey. A comparação dos valores obtidos para a floresta pode ser feita usando apenas observando as médias e o desvio padrão.

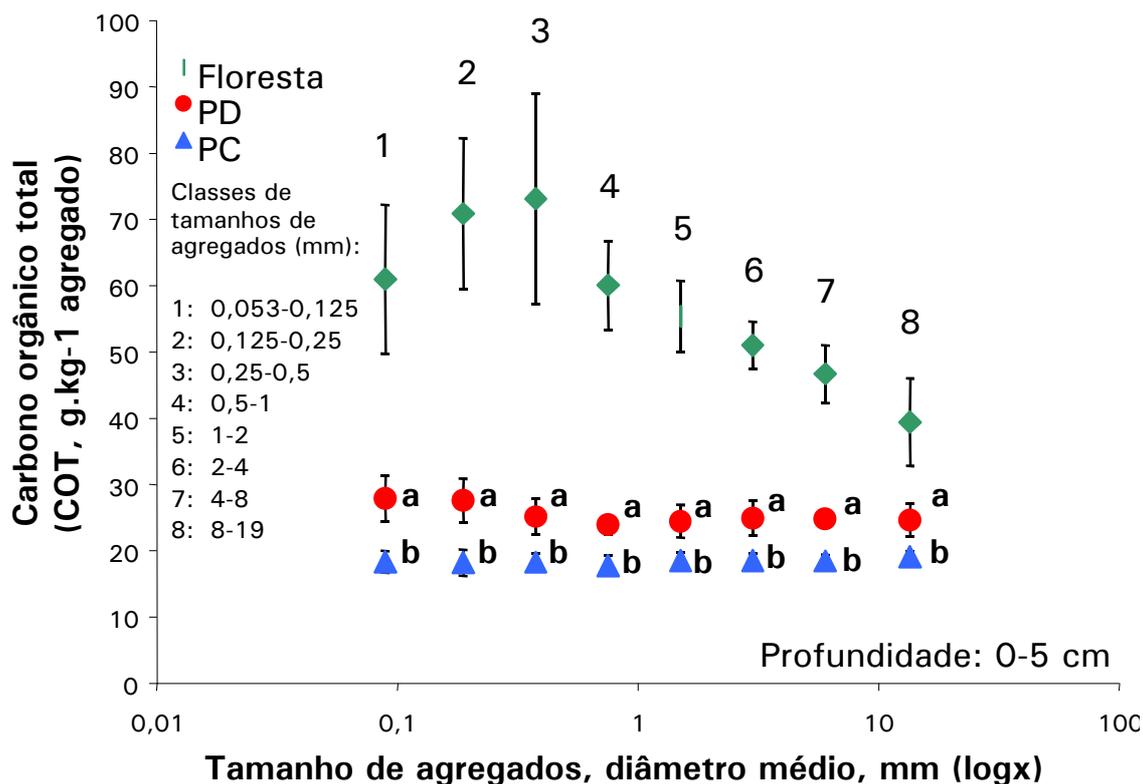


Figura 5. Distribuição de carbono orgânico total (g COT kg^{-1} agregado) em diferentes classes de agregados na camada 0-5 cm de Latossolo Vermelho eutroférico. Barras de erro representam desvio padrão ($n=3$). Comparação de médias foi feita pelo teste Tukey ($p=0,01$). Pacote de software estatístico usado: SAS (SAS Institute, 1990). As amostras coletadas da floresta, como não fizeram parte do arranjo experimental do PD e PC (blocos inteiramente casualizados com 3 repetições), não foram incluídas no teste de Tukey. A comparação dos valores obtidos para a floresta pode ser feita usando apenas observando as médias e o desvio padrão.

Tabela 2. Correlação (Pearson's) entre o carbono orgânico total do solo (COT g.kg^{-1} agregado) e índices de agregação do solo (IEA, DMP, DMG), Latossolo Vermelho eutroférico, Londrina, PR.

Profundidade (cm)	IEA ¹ (%)	DMP ² (mm)	DMG ³ (mm)
0-5 ⁴	0,79**	0,80**	0,81**
5-10 ⁴	ns	ns	ns
10-20 ⁴	ns	ns	ns
20-30 ⁴	0,65**	ns	ns
0-30 ⁵	0,45**	0,57***	0,53***

¹Índice de Estabilidade de Agregados; ²Diâmetro Médio Ponderado; ³Diâmetro Médio Geométrico; ⁴ $n = 15$, ⁵ $n = 60$; **: $p = 0,01$; *: $p = 0,05$; ns: não é significativo no nível de probabilidade $p = 0,05$. Pacote de software estatístico usado: SAS (SAS Institute, 1990).

Tabela 3. Correlação bivariada (Pearson r s) entre o carbono orgânico total das classes de agregados (COT g.kg⁻¹ agregado) e índices de agregação do solo (IEA, DMP, DMG), Latossolo Vermelho distroférico, Londrina, PR.

Índices de agregação	Classes de agregados por tamanho (mm)						Macroagregados	Microagregados		
	8-19	4-8	2-4	1-2	0,5-1	0,25-0,50	0,125-0,250	0,053-0,125 (mm)	0,025-0,050 (mm)	
0-5 cm⁴										
IEA ¹	0,84***	0,62*	ns	ns	-0,53*	-0,79**	-0,84***	-0,94***	0,83***	-0,88***
DMP ²	0,92***	0,55*	ns	-0,76**	-0,81**	0,89***	-0,85***	-0,83***	0,83***	-0,85***
DMG ³	0,92***	0,59*	ns	-0,71**	-0,77**	0,90***	-0,87***	-0,87***	0,85***	-0,88***
5-10 cm⁴										
IEA ¹	0,73**	ns	ns	ns	-0,78**	0,92***	-0,99***	-0,96***	0,58*	-0,99***
DMP ²	0,89***	ns	ns	ns	-0,90***	0,91***	-0,88***	-0,83***	0,67**	-0,88***
DMG ³	0,88***	0,52*	ns	ns	-0,91***	0,96***	-0,95***	-0,89***	0,68**	-0,94***
10-20 cm⁴										
IEA ¹	0,77**	ns	ns	-0,75**	-0,79**	0,96***	-0,99***	-0,98***	ns	-0,99***
DMP ²	0,97***	ns	-0,60*	0,94***	-0,87***	0,86***	-0,78**	-0,80**	ns	-0,79**
DMG ³	0,96***	ns	-0,57*	0,94***	-0,90***	0,92***	-0,85***	-0,87***	ns	-0,86***
0-20 cm⁵										
IEA ¹	0,65***	0,46**	ns	-0,47**	-0,70***	0,89***	-0,94***	-0,94***	0,50**	-0,95***
DMP ²	0,84***	0,43**	ns	0,69***	-0,83***	0,85***	-0,80***	-0,76***	0,63***	-0,80***
DMG ³	0,81***	0,45**	ns	0,67***	-0,84***	0,90***	-0,87***	-0,84***	0,60***	-0,87***

¹Índice de Estabilidade de Agregados; ²Diâmetro Médio Ponderado; ³Diâmetro Médio Geométrico; ⁴n = 15, ⁵n = 30 por classes de agregados para todos os índices de agregação; ***: p = 0,0001; **: p = 0,01; *: p = 0,05; ns: não é significativo no nível de probabilidade p = 0,05. Pacote de software estatístico usado: SAS (SAS Institute, 1990).

Considerações finais

A avaliação da estabilidade de agregados através da distribuição de agregados do solo inteiro, e não através da estabilidade de uma classe de agregados, junto com o uso da peneira de 19 mm de abertura de malha no campo na hora de amostragem para homogeneizar as amostras, e com o uso de 8 peneiras (de 8 a 0,053 mm) na tamisação úmida, possibilitaram a identificação de uma classe de agregados (8-19 mm) maior, que é estável em água e é sensível ao tipo de preparo do solo.

A vantagem deste procedimento foi que, pelo seu uso, não foi subestimada a contribuição dos sistemas de preparo do solo (especialmente a do plantio direto) para formar e manter macroagregados e, através disso, uma melhor avaliação foi possível da capacidade destes sistemas para a acumulação de carbono no solo.

Agradecimentos

Projetos: FAPERJ E-26/150.916/2000 e Embrapa 01.1999.203.04.

Referências Bibliográficas

- BRAUNACK, M. V.; DEXTER, A. R. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 14, p. 281-298. 1989.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 65, p. 45-51. 2002.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, p. 527-538. 1998.
- CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JUNIOR., R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 20, p. 271-283. 1991.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S.D.; ELLIOTT, E.T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 1599-1611. 2001.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. GTZ/IAPAR: Eschborn, Alemanha, 1991. 268 p.

DÍAZ-ZORITA, M.; PERFECT, E.; GROVE, J.H. Disruptive methods for assessing soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, p. 3–22. 2002.

DUTARTRE, P. H.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J. M.; ANGE, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 459–478, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 95-106, 2002a.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 197-205. 2002b.

FREITAS, P. L.; ZOBEL, R. W.; SNYDER, V. A. Corn root growth in soil columns with artificially constructed aggregates. **Crop Science**, Madison, v. 39, no. 3, p. 725-730, 1999.

GIJSMAN, A. J. Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. **Australian Journal Soil Research**,

Collingswood, Victoria, v. 34, p. 891–907, 1996.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442. (Agronomy Monograph N. 9).

LAL, R. Physical management of the soils of the tropics: priorities for the 21st century. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 3, p. 191–207. 2000.

LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R. F. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Eds) **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 1-8.

MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 2005. n. 80, p. 185-200, 2005.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal Soil Research**, Collingswood, Victoria, n. 29, p. 815-828, 1991.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B.; FREDE, H.-G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 163-166. 1986.

SAS INSTITUTE. **SAS User's Guide: Statistics**. 6. ed. Cary, NC, 1990. 1 v.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, IL, n. 63, p. 1350-1358, 1999.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, DC, v. 28, n. 5, p. 337-351. 1936.

Comunicado Técnico, 22

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser obtidos na
Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim
Botânico. Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22460-000

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>

1ª edição

Expediente

Supervisor editorial: *Jacqueline S. Rezende Mattos.*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes.*

Revisão bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia.*

Editoração eletrônica: *Jacqueline S. Rezende Mattos.*