

ESTABILIDADE DOS 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⁽¹⁾

C. CASTRO FILHO⁽²⁾, O. MUZILLI⁽²⁾ & A. L. PODANOSCHI⁽³⁾

RESUMO

O tamanho dos agregados do solo e o estado de agregação podem ser influenciados por diferentes processos de manejo e práticas culturais que alteram o teor de matéria orgânica e a atividade biológica do solo. O objetivo do trabalho foi verificar as relações entre o teor de C-orgânico e o tamanho e estabilidade dos agregados do solo em dois sistemas de plantio (convencional e direto) e três rotações de culturas (milho/trigo/milho, soja/trigo/milho e soja/trigo/soja), submetendo-se as amostras a dois processos de preparo: uso das peneiras de 4 e 8 mm antes do tamisamento úmido. O trabalho foi executado em 1990, usando-se amostras de solo, coletadas num experimento com 14 anos de duração, localizado em Londrina, PR, num Latossolo Roxo (Typic Haplorthox). As amostras de solo foram coletadas em 5 de abril de 1990, em duas profundidades: 0-10 e 10-20 cm. Os índices de agregação determinados foram: o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA). Os resultados mostraram que o sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação do solo com o incremento do teor de C-orgânico, sobretudo na camada de 0-10 cm, onde os valores de DMP e DMG foram significativamente superiores. A agregação tendeu a aumentar quando a sucessão de culturas incluiu espécie de relação C/N mais alta (milho). O aumento do teor de C-orgânico resultou em aumento do IEA pela diminuição de agregados das classes com diâmetro < 0,25 mm e aumento das classes de diâmetro maior. Os métodos de preparo das amostras produziram diferenças na agregação do solo, tendo o preparo com peneira 8 mm melhorado a sensibilidade para determinar o estado de agregação em função dos processos de manejo.

Termos de indexação: índices de agregação, tamanho de agregados, mecanismos de agregação.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em março de 1997 e aprovado em junho de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Caixa Postal 481, CEP 86001-970 Londrina (PR). Email: ccastrof@iapar.pr.gov.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, estagiário curricular da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e IAPAR. CEP 86001-970 Londrina (PR).

SUMMARY: SOIL AGGREGATE STABILITY AND ITS RELATION WITH ORGANIC CARBON IN A TYPIC HAPLORTHOX, AS A FUNCTION OF TILLAGE SYSTEMS, CROP ROTATIONS AND SOIL SAMPLE PREPARATION

Aggregate size and the state of soil aggregation may be influenced by different soil management and cultural practices which lead to changes in soil organic matter content and biological activity. The objective of this study was to verify the relationship between organic carbon and the size and stability of soil aggregates in two planting systems (conventional and direct), three crop rotations (corn/wheat/corn, soybean/wheat/corn and soybean/wheat/soybean), under two soil sample preparation processes: use of 4 and 8 mm sieves before the wet sieving process. The study was carried out in a Typic Haplorthox in 1990, using soil samples from an experiment which had extended over a 14 year period, located at IAPAR's experiment station in Londrina, Paraná, Brazil. Soil samples were collected on April 5, 1990 at two depths: 0-10 and 10-20 cm. The aggregation indices determined were: the mean weight diameter (MWD), the geometric mean diameter (GMD) and the aggregate stability index (AS%). The results showed that the no-tillage system improved the state of soil aggregation due to an increase in organic carbon, especially at the depth 0-10 cm where the MWD and GMD had significantly higher values. Soil aggregation had a tendency to increase when crop rotation included a species with higher C/N ratio (corn). The increase in organic carbon resulted in higher AS% since aggregate class < 0.25 mm decreased and the other classes increased. The methods for soil sample preparation showed differences in aggregation: the 8 mm sieve method increased the sensibility to detect differences in the state of aggregation as a function of soil management.

Index terms: aggregation indices, aggregate size, aggregation mechanisms.

INTRODUÇÃO

O tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo podem ser determinados de várias formas. Segundo Kemper (1965) e Kemper & Chepil (1965), podem ser usados como parâmetros o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA). Cada um deles apresenta um princípio diferente: o DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência; o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA.

O DMP, ou a presença de agregados grandes, pode refletir a resistência do solo à erosão. Segundo Angulo et al. (1984a), a agregação do solo, avaliada por meio da estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota, proporcionou melhor correlação com o fator K, seguida da correlação com a média do índice DMP e agregados > 1 mm. Isso acontece porque, quanto maior for o agregado, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. Alvarenga et al. (1986) chegaram à

conclusão semelhante, ao usar os agregados > 2 mm para expressar a agregação do solo. Existem outros métodos para verificar a qualidade dos agregados do solo, porém os três índices aqui mencionados servem para avaliar alterações físicas, químicas e biológicas do solo.

Os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanho dos agregados são influenciados pela matéria orgânica, cuja quantidade irá permitir maior ou menor agregação, resultando em menor ou maior perda de solo (Castro Filho & Logan, 1991) em decorrência da maior resistência à desagregação e dispersão (Wischmeier & Smith, 1965). Além da matéria orgânica, a resistência à desagregação e dispersão também é influenciada pela composição textural do solo (Wischmeier & Mannering, 1969; El-Swaify & Dangler, 1977). Tisdall & Oades (1982) mostraram que a matéria orgânica exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes, o que está de acordo com o mecanismo proposto por Edwards & Bremner (1967). É importante salientar que fungos e bactérias também exercem papel fundamental na agregação do solo (Tisdall & Oades, 1979). Embora importantes, as hifas são temporárias e substituídas anualmente (Oades, 1984), o que pode fazer seu efeito agregante desaparecer, ao se proceder à calagem, que neutraliza

as condições ácidas, favorecendo o seu desenvolvimento. As hifas podem desaparecer ainda em função de sistemas de preparo que movimentam muito o solo.

Para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar diretamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação. O sistema de plantio direto, ao manter os resíduos culturais na superfície, poderá aumentar a matéria orgânica e melhorar a agregação do solo em relação ao plantio convencional (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), cujos agregados, maiores e menos densos, aumentam a infiltração de água no solo (Roth et al., 1986; Castro Filho, 1988). Por outro lado, no plantio convencional, a ruptura dos agregados ocasionada pelo preparo do solo poderá acelerar as perdas de C-orgânico pela oxidação da matéria orgânica (Mendonça & Rowell, 1994). Oades (1984) constatou que significativa quantidade de C-orgânico é perdida rapidamente por causa das operações de cultivo.

Para determinar os índices de agregação, é necessário preparar adequadamente a amostra a ser analisada. Esse processo compreende as fases de peneiragem da amostra no campo e, no laboratório, molhamento uniforme antes do tamisamento.

O material amostrado deve passar por uma peneiragem inicial com três objetivos: (a) separação dos agregados da massa do solo (quebra dos torrões); (b) secagem e peneiragem para homogeneização da amostra, e (c) acondicionamento apropriado, para não haver perda posterior de umidade, que alterará os resultados. Além disso, por meio da peneiragem, estabelece-se um diâmetro máximo para os agregados. O preparo da amostra com peneira de malha fina pode destruir os agregados naturais, enquanto malhas muito grandes impedem a eliminação de torrões.

Já no laboratório, os índices de agregação podem variar também em função do método de molhamento que antecede o processo de tamisagem. O método de imersão direta dos agregados em água simula a desintegração do solo em condições naturais de inundação (Kemper, 1965). A desintegração dos agregados em solos cultivados ocorre, na sua maior parte, durante o primeiro umedecimento depois do preparo (Angulo et al., 1984b). Por outro lado, a colocação de um papel de filtro, amparando a amostra no tamisador, permite um molhamento por capilaridade, em oposição à imersão imediata, podendo melhorar a simulação das condições naturais, uma vez que a enxurrada é formada aos poucos e apenas uma lâmina de água inicial escoia lentamente no sentido do declive.

O objetivo deste trabalho foi verificar a mudança na estabilidade dos agregados em duas profundidades, em função de dois sistemas de plantio e três sucessões de culturas, procedendo-se o preparo da amostra em dois tipos de peneiras (4 e 8 mm).

MATERIAL E MÉTODOS

Em 1976, selecionou-se uma área de solo Latossolo Roxo distrófico (Typic Haplorthox), localizada na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina, estado do Paraná, onde foi estabelecido um ensaio de longa duração para avaliar efeitos dos sistemas de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em diferentes sucessões de culturas. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas, foram comparados os sistemas de plantio e, nas subparcelas, diferentes sucessões de culturas. Com a finalidade de adequar a fertilidade do solo e proporcionar restos de cultura para a formação inicial de cobertura morta, aplicou-se termofosfato magnésiano (120 kg ha^{-1} de P_2O_5) a lanço e incorporado por meio de gradagem, seguido do cultivo de trigo em sistema convencional. Após o corte do trigo, a palha remanescente foi distribuída de maneira uniforme no terreno e sobre ela foi aplicado calcário dolomítico (2 t ha^{-1}), incorporado por meio de aração e gradagem no plantio convencional e mantido sem incorporação no plantio direto. As características de fertilidade do solo logo após essas operações de adequação do terreno encontram-se no quadro 1.

Catorze anos depois (1990), coletaram-se amostras de solo a duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) nas subparcelas cultivadas com as sucessões soja/trigo/soja (S/T/S) milho/trigo/milho (M/T/M) e soja/trigo/milho (S/T/M), em ambos os sistemas de plantio. As amostras foram coletadas com uma pá reta, quando a umidade do solo estava próxima da capacidade de campo. Cada amostra coletada foi submetida a dois métodos de preparo: homogeneização com peneiras de malhas 4 mm (Pen 4) e 8 mm (Pen 8).

Pela separação das amostras no campo, obtiveram-se, como subsubparcelas, os dois métodos de preparo das amostras (Pen 4 e Pen 8). Após retirada das amostras, o solo foi seco à sombra por 24 horas, seguindo-se o peneiramento. As amostras obtidas (peneiragem a 4 e 8 mm) foram imediatamente acondicionadas em vidros com tampas para não haver perda posterior de umidade. Para cada tipo de peneira, acondicionou-se, aproximadamente, 1 kg de solo, sendo todo o material tamisado após secagem. Os resultados foram analisados para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm separadamente, uma vez que não são variáveis independentes.

Para cada amostra, foi determinada a distribuição das classes de agregados por meio do tamisamento a úmido pelo método de Yoder (1936). O tamisamento a úmido é feito em um recipiente cilíndrico onde se colocam três jogos de peneiras, para que cada amostra proveniente do campo seja analisada em triplicata, tirando-se uma média final que não deve ter coeficiente de variação superior a 10%. Cada conjunto no tamisador era constituído por peneiras

Quadro 1. Resultados da análise química do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, em amostras coletadas após a adequação da área para estabelecimento do ensaio, em 1976

Profundidade cm	pH _{H₂O}	Cátions trocáveis				P mg kg ⁻¹	C orgânico g kg ⁻¹
		Al	Ca	Mg	K		
		mmol _c kg ⁻¹					
0-10	5,90	0,0	65,0	25,0	6,0	3,2	12,8
10-20	5,60	0,0	57,0	18,0	4,2	2,4	11,3

com malhas de 2,0 - 1,0 - 0,5 e 0,25 mm de diâmetro. Quantificou-se o solo retido em cada peneira e, ainda, aquele que passou através da última peneira (< 0,25 mm), obtendo-se 5 classes de agregados, cujos diâmetros médios eram, respectivamente, 3,0 - 1,5 - 0,75 - 0,375 e 0,125 mm para as amostras de solo preparadas com Pen 4 no campo. Quando as amostras foram preparadas com Pen 8 no campo, acrescentou-se a peneira com malha 4 mm no tamisador, obtendo-se, assim, 6 classes de agregados. O diâmetro médio dessa classe de agregados foi, portanto, de 6 mm.

O processo de tamisagem para cada amostra consistiu na separação de 4 subamostras de 100 g cada uma (peso do material úmido), uma para cada jogo de peneiras (repetições 1, 2 e 3 no laboratório) e uma para determinar a umidade e, assim, calcular o peso da amostra seca. Em cada jogo de peneiras, a amostra de agregados com 100 g foi colocada sobre a peneira de maior malha, contendo um papel de filtro para retenção da terra até que ela fosse saturada por capilaridade, durante 10 minutos. A saturação por capilaridade foi obtida por meio da elevação do nível de água do tamisador até que ela tocasse o papel de filtro. Depois de saturado, o papel era retirado com o auxílio de uma mangueira de água de baixa pressão, após o que o tamisador era acionado por 15 minutos, com movimento vertical de 30 oscilações por minuto. O solo retido em cada peneira foi transferido para frascos com auxílio de jatos de água fracos dirigidos ao fundo da peneira e, em seguida, colocado na estufa para secagem, sendo posteriormente pesado. Após a obtenção do peso de solo seco de cada classe de agregados (solo retido nas peneiras), calculou-se a média entre as três classes iguais. A classe de agregado de solo mais fino foi considerada aquela em que o solo passou pela peneira de 0,25 mm de malha, ficando disperso no tamisador. Seu valor, em gramas, foi computado, subtraindo-se o somatório do peso das outras classes de agregados do peso total da amostra seca. Os valores obtidos foram usados para cálculo do DMP, DMG e IEA, da seguinte maneira:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi \cdot wi)$$

em que

wi = proporção de cada classe em relação ao total;
xi = diâmetro médio das classes (mm);

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^N wp \cdot \log xi}{\sum_{i=1}^N wi}$$

em que

wp = peso dos agregados de cada classe (g);

$$IEA = \left(\frac{\text{Peso da amostra seca} - wp_{25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) 100$$

em que

wp₂₅ = peso dos agregados da classe < 0,25 mm.

Em relação à quantidade de areia, testes anteriores foram feitos com NaOH 0,5 mol L⁻¹ no tamisador para determinação de partículas maiores que 2,0 mm (cascalhos), considerando que as inferiores participam ativamente do processo de agregação. Chegou-se a um valor de 1,02 g de concreções com diâmetro maior que 2,0 mm por amostra. Esse valor, apesar de ter sido usado, foi insignificante, porque o coeficiente de variação das amostras em triplicata no tamisador era maior que 5%, superando o valor médio utilizado como peso de areia. Em solos originários de basalto, a maioria das partículas com o tamanho da areia consiste, na realidade, de 10-20% de concreções de ferro e de 80-90% de magnetita (EMBRAPA, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição dos teores de carbono orgânico

Encontra-se na figura 1 a distribuição dos teores de C-orgânico nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, após 14 anos de cultivo, relacionada com os sistemas de plantio e com as rotações de culturas. Houve um aumento expressivo dos teores de C-orgânico na camada superior do solo (0-10 cm) em plantio direto, comparado ao do plantio convencional. Na camada inferior (10-20 cm) e entre as sucessões de culturas (em ambas as profundidades), as diferenças entre os teores de C-orgânico não foram marcantes. Em experimentos de longa duração, realizados em diferentes regiões, têm sido comprovados os efeitos do acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pelo sistema de plantio direto, formando camadas com teores diferenciados de matéria orgânica e nutrientes (Triplett & Doren, 1969; Shear & Moschler, 1969; Moschler et al., 1972; Cannel & Finney, 1973; Lal, 1975; Blevins et al., 1977; Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1985; Sá, 1993).

A interação entre fatores climáticos (temperatura, precipitação) e acúmulo de restos culturais na superfície do solo resulta em melhoria ambiental para a biomassa microbiana, aumentando a sua atividade. Nessas condições, a dinâmica da matéria orgânica em sistema de plantio direto é alterada, interferindo não apenas nos ciclos de transformação dos nutrientes, mas também na estruturação do solo (Oades, 1984). A manutenção da arquitetura de poros pela permanência intacta dos restos de raízes das culturas, a ação da meso e macro fauna na fragmentação desses resíduos e na formação de galerias, por sua vez, influem na aeração e na movimentação descendente da água, produzindo trocas mais intensas e contribuindo para melhorar a agregação do solo em sistema de plantio direto. Dessa maneira, a presença de resíduos na superfície tem sido um dos principais fatores a proporcionar incremento da matéria orgânica e melhoria das condições edáficas em sistema de plantio direto.

Efeitos na agregação do solo

O cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas duas profundidades, em função dos sistemas de plantio e das sucessões de culturas, sob dois métodos de preparo das amostras, encontram-se no quadro 2. As classes resultantes da distribuição de tamanho dos agregados estão mostradas no quadro 3.

Comparando os sistemas de plantio, na profundidade de 0-10 cm, observa-se diferença significativa para todos os parâmetros de agregação - DMP, DMG e IEA (Quadro 2). Os aumentos relativos proporcionados pelo plantio direto foram de 74%, para o DMP, e de 70%, para o DMG, à semelhança de resultados obtidos por Carpenedo & Mielniczuk (1990). O IEA teve um aumento significativo de 10,4% no plantio direto em relação ao plantio convencional, verificando-se, para este índice, aumento significativo (6%) na camada de 10-20 cm. A maior agregação em plantio direto esteve relacionada com o maior acúmulo de matéria orgânica proporcionada por esse sistema em relação ao plantio convencional (Figura 1).

O incremento do DMP foi resultante do aumento de 134% na classe de agregados > 2,00 mm. Por outro lado, a classe dominante dos agregados (1-0,5 mm) não sofreu alteração com o sistema de plantio (Quadro 3) quando o DMG passou de 0,521 para 0,884 (Quadro 2). Esse aumento no DMG decorreu de um aumento nas classes de agregados maiores que a dominante e uma diminuição nas classes menores que a dominante. Comportamento semelhante foi observado na camada de 10-20 cm, exceto para o DMP, cuja diferença entre o plantio direto e o convencional (22%) não foi estatisticamente significativa.

Pelo quadro 3, observa-se que, com relação às sucessões de culturas, não foi constatado efeito

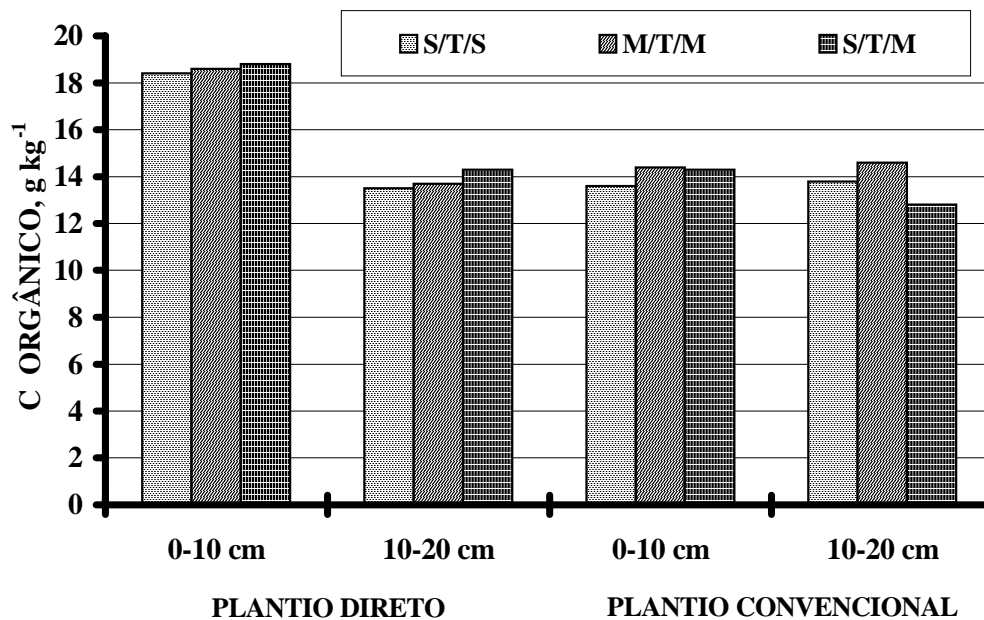


Figura 1. Teores de carbono orgânico em dois sistemas de plantio e três rotações de culturas em duas profundidades do solo.

Quadro 2. Efeito do sistema de plantio, rotação de culturas e tipo de preparo da amostra no diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados em duas profundidades do solo

Tratamento	DMP	DMG	IEA
	mm		%
0-10 cm			
PC	0,916A	0,521A	71,89A
PD	1,594B	0,884B	82,32B
M/T/M	1,353a	0,762a	78,86a
S/T/M	1,288a	0,713a	76,85a
S/T/S	1,123a	0,632a	75,61a
Pen 4	1,029a	0,630a	76,46a
Pen 8	1,480b	0,775b	77,76a
10-20 cm			
PC	1,020A	0,599A	76,64A
PD	1,241A	0,752B	82,64B
M/T/M	1,177a	0,703a	81,23a
S/T/M	1,244a	0,728a	80,13a
S/T/S	0,971a	0,596a	77,56a
Pen 4	1,087a	0,686a	81,03a
Pen 8	1,174a	0,665a	78,25a

PC: plantio convencional; PD: plantio direto; M/T/M: rotação milho/trigo/milho; S/T/M: rotação soja/trigo/milho; S/T/S: rotação soja/trigo/soja; Pen 4: preparo da amostra com peneira de malha 4 mm; Pen 8: preparo da amostra com peneira de malha 8 mm. Nas colunas, tratamentos com letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

significativo dessas relações na agregação do solo. Contudo, na profundidade de 0-10 cm, obteve-se maior porcentagem de agregados nas classes de maior tamanho nas rotações que incluíram o milho, enquanto as classes de menor tamanho tiveram comportamento inverso. A distribuição das classes de agregados explica as diferenças entre os valores dos índices de agregação em função das rotações de culturas, que se comportaram segundo a seqüência: M/T/M > S/T/M > S/T/S. Apesar de não haver significância estatística, a diferença do DMP e DMG da rotação S/T/S para a rotação M/T/M foi superior em pelo menos 20% (Quadro 2). Comportamento semelhante ocorreu na profundidade de 10-20 cm, cujos índices de agregação também foram superiores quando o milho estava presente.

Analisando os métodos de preparo da amostra no campo, verifica-se que o tratamento Pen 4 quebrou os agregados maiores em relação ao Pen 8 (Quadro 2). O DMP aumentou em 44% o preparo da amostra com a peneira 8 mm em relação ao preparo com a peneira 4 mm na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, o aumento do DMP não foi significativo. O DMG aumentou significativamente

em 23% entre um e outro método de preparo da amostra na profundidade de 0-10 cm, não havendo efeito na profundidade de 10-20 cm. Esses resultados estão de acordo com a distribuição das classes de tamanho dos agregados apresentada no quadro 3. Na profundidade de 0-10 cm, esses aumentos foram conseqüência do aumento significativo de agregados na classe > 2,00 mm (Quadro 3); na profundidade de 10-20 cm, apesar de haver diferença significativa na distribuição de algumas classes de agregados, não houve diferenças entre os índices mostrados no quadro 2, para os métodos de preparo da amostra. Castro Filho & Logan (1991) estudaram os índices de agregação nesse mesmo tipo de solo em parcelas sem cobertura vegetal, em função da calagem e nível de matéria orgânica, usando somente a peneiragem no campo com malha 4 mm para o preparo da amostra. Os resultados de DMP e DMG obtidos pelos autores foram semelhantes aos obtidos em plantio convencional, em amostras submetidas ao mesmo método de preparo no presente trabalho. Porém, entre sistemas de plantio, o preparo com peneira 8 mm foi mais adequado porque rompeu menos os agregados com diâmetro > 2 mm. Já o IEA não foi afetado pelo tipo de preparo da amostra, uma vez que os agregados mais prejudicados por esse tratamento são os das classes > 0,25 mm.

Quadro 3. Distribuição das classes de tamanho dos agregados em função dos sistemas de plantio, rotação de culturas e tipo de preparo da amostra em duas profundidades do solo

Tratamento	Classe de tamanho dos agregados (mm)				
	> 2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25
————— Peso dos agregados (g) —————					
0-10 cm					
PC	10,30A	11,96A	23,63A	18,97A	25,00 A
PD	24,11B	14,70B	20,81A	13,67A	15,49 B
M/T/M	18,87a	13,53a	21,66ab	15,60a	18,50a
S/T/M	18,35a	13,54a	21,17b	15,96a	20,41a
S/T/S	14,38a	12,91a	23,83a	17,40a	21,83a
Pen 4	14,25a	13,77a	21,98a	15,97a	20,04a
Pen 8	20,15b	12,89a	22,47a	16,67a	20,45a
10-20 cm					
PC	12,02A	12,83A	23,77A	19,05A	20,61A
PD	17,20B	17,18B	24,52A	15,66B	15,43B
M/T/M	15,22ab	15,38a	24,37a	16,98a	16,44a
S/T/M	17,42b	15,30a	22,89a	16,04a	17,59a
S/T/S	11,19a	14,34a	25,17a	19,04a	20,03a
Pen 4	14,67a	15,21a	23,03a	15,93a	15,90a
Pen 8	14,55a	14,81a	25,26b	18,78b	20,14b

PC: plantio convencional; PD: plantio direto; M/T/M: rotação milho/trigo/milho; S/T/M: rotação soja/trigo/milho; S/T/S: rotação soja/trigo/soja; Pen 4: preparo da amostra com peneira de malha 4 mm; Pen 8: preparo da amostra com peneira de malha 8 mm. Na coluna, tratamentos com letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na profundidade de 0-10 cm, conforme anteriormente mencionado, os três parâmetros de agregação aumentaram em sistema de plantio direto nas três sucessões de cultura (Quadro 4), e tal aumento decorreu do maior teor de matéria orgânica (Figura 1). Também ocorreram diferenças de agregação para o DMP e o DMG entre sucessões de culturas em plantio direto. Nas sucessões em que o milho estava presente e cujo volume de biomassa na parte aérea e raízes proporcionou maior acúmulo de resíduos orgânicos, a agregação foi superior. Para o IEA, não se perceberam diferenças na profundidade de 10-20 cm, exceto para os sistemas de plantio na rotação S/T/M, embora, a essa profundidade, em todas as sucessões e em valores absolutos, tal índice foi sempre superior, em pelo menos 4%, no sistema de plantio direto.

Observando os índices de agregação, verificaram-se interações estatisticamente significativas entre os sistemas de plantio e os métodos de preparo da amostra (Quadro 5), bem como melhoria de sensibilidade para detectar diferenças entre os sistemas de plantio com o uso da peneira 8 mm, ao invés da peneira 4 mm. Em ambas as profundidades, não houve diferenças significativas entre as médias do DMP ou DMG, quando foram comparados os sistemas de plantio em Pen 4 (PCPen 4 = PDPen 4). No entanto, as diferenças foram significativas ao usar-se Pen 8 para o preparo da amostra (PCPen 8 ≠ PDPen 8). Da mesma forma que não houve diferenças entre os sistemas de plantio em Pen 4, tampouco foram detectadas diferenças em plantio convencional, entre os dois métodos de preparo da amostra (PCPen 4 = PCPen 8), as quais só foram significativas no sistema de plantio direto (PDPen 4 ≠ PDPen 8), na profundidade de 0-10 cm. O DMP e o DMG cresceram em 130 e 98% respectivamente, observando-se na seqüência as

interações PCPen 4, PCPen 8, PDPen 4 e PDPen 8 (Quadro 5).

O IEA revelou diferenças entre os sistemas de plantio para um mesmo método de preparo da amostra, exceto na profundidade de 10-20 cm com o preparo de amostra Pen 4 (PCPen 4 = PDPen 4). Nessa profundidade, também houve diferença significativa para o IEA entre os métodos de preparo de amostra para o plantio convencional (PCPen 4 ≠ PCPen 8). A razão de um IEA maior para PCPen 4, comparado com PCPen 8, pode ser explicada pela desvantagem em se preparar a amostra com peneira 4 mm, cujo efeito é aumentado quando o conteúdo de matéria orgânica é baixo. A passagem do solo na peneira 4 mm, por ser trabalhosa, acaba provocando ligeira compactação artificial dos agregados. A consequência imediata é a diminuição da classe de agregados < 0,25 mm e o aumento das classes de maior tamanho. Contudo, essa redução de massa de agregados da classe < 0,25 mm (de 24,18 para 17,04 g) por compactação artificial não foi grande o suficiente para alterar os outros índices de agregação (DMP e DMG).

De acordo com os valores obtidos para cada índice de agregação, não houve diferenças entre as sucessões de culturas para um mesmo método de preparo da amostra nas duas profundidades, exceto no preparo com Pen 8 para a sucessão S/T/S na profundidade de 10-20 cm (Quadro 6). O DMP, na profundidade de 0-10 cm, mostrou diferenças significativas para cada rotação. Observou-se também uma possível agregação artificial, pela compactação da amostra na Pen 4, por meio dos resultados do IEA na camada de 10-20 cm, principalmente na sucessão S/T/S, que apresentou resultado estatisticamente superior, quando comparado com a Pen 8.

Quadro 4. Efeito das interações entre os sistemas de plantio e as rotações de culturas nos índices de agregação do solo (DMP, DMG e IEA) em duas profundidades do solo

Tratamento	DMP			DMG			IEA		
	M/T/M	S/T/M	S/T/S	M/T/M	S/T/M	S/T/S	M/T/M	S/T/M	S/T/S
mm									
0-10 cm									
PC	0,96Ba	0,94Ba	0,85Ba	0,54Ba	0,52Ba	0,50Aa	73,97Ba	71,15Ba	70,56Ba
PD	1,75Aa	1,63Aab	1,40Ab	0,98Aa	0,90Aab	0,77Ab	83,75Aa	82,55Aa	80,65Aa
10-20 cm									
PC	1,05Aa	1,15Aa	0,86Aa	0,63Aa	0,64Aa	0,53Aa	79,55Aa	76,18Ba	74,19Aa
PD	1,31Aa	1,34Aa	1,08Aa	0,77Aa	0,82Aa	0,66Aa	82,92Aa	84,08Aa	80,93Aa

PC: plantio convencional; PD: plantio direto; M/T/M: rotação milho/trigo/milho; S/T/M: rotação soja/trigo/milho; S/T/S: rotação soja/trigo/soja. Letras maiúsculas na vertical: comparação de parcelas (sistemas de plantio) dentro de subparcelas (rotações de culturas); letras minúsculas na horizontal: comparação de subparcelas dentro de cada parcela.

Quadro 5. Efeito das interações entre os sistemas de plantio e os tipos de preparo da amostra nos índices de agregação (DMP, DMG, IEA) em duas profundidades do solo

Tratamento	DMP			DMG			IEA		
	M/T/M	S/T/M	S/T/S	M/T/M	S/T/M	S/T/S	M/T/M	S/T/M	S/T/S
	mm						%		
	0-10 cm								
PC	0,96Ba	0,94Ba	0,85Ba	0,54Ba	0,52Ba	0,50Aa	73,97Ba	71,15Ba	70,56Ba
PD	1,75Aa	1,63Aab	1,40Ab	0,98Aa	0,90Aab	0,77Ab	83,75Aa	82,55Aa	80,65Aa
	10-20 cm								
PC	1,05Aa	1,15Aa	0,86Aa	0,63Aa	0,64Aa	0,53Aa	79,55Aa	76,18Ba	74,19Aa
PD	1,31Aa	1,34Aa	1,08Aa	0,77Aa	0,82Aa	0,66Aa	82,92Aa	84,08Aa	80,93Aa

PC: plantio convencional; PD: plantio direto; Pen 4: preparo da amostra com peneira de malha 4 mm; Pen 8: preparo da amostra com peneira de malha 8 mm. Letras maiúsculas na vertical: comparação de parcelas (sistema de plantio) dentro de subparcelas (tipo de preparo da amostra no campo); letras minúsculas na horizontal: comparação de subparcelas dentro de cada parcela.

Quadro 6. Efeito das interações entre os tipos de preparo das amostras e as rotações de culturas nos índices de agregação (DMP, DMG e IEA) em duas profundidades do solo

	DMP		DMG		IEA		
	Pen 4	Pen 8	Pen 4	Pen 8	Pen 4	Pen 8	
	mm						%
	0-10 cm						
M/T/M	1,09Ab	1,62Aa	0,67Aa	0,85Aa	78,27Aa	79,45Aa	
S/T/M	1,05Ab	1,52Aa	0,64Aa	0,79Aa	75,67Aa	78,03Aa	
S/T/S	0,95Ab	1,30Aa	0,58Aa	0,68Aa	75,43Aa	75,79Aa	
	10-20 cm						
M/T/M	1,08Aa	1,27Aa	0,69Aa	0,72Aa	81,72Aa	80,75Aa	
S/T/M	1,15Aa	1,34Aa	0,72Aa	0,73Aa	80,91Aa	79,35Aa	
S/T/S	1,03Aa	0,91Ba	0,65Aa	0,54Aa	80,46Aa	74,66Ab	

M/T/M: rotação milho/trigo/milho; S/T/M: rotação soja/trigo/milho; S/T/S: rotação soja/trigo/soja; Pen 4: preparo da amostra com peneira de malha 4 mm; Pen 8: preparo da amostra com peneira de malha 8 mm. Letras maiúsculas na vertical: comparação de subparcelas (rotação de culturas) dentro de subparcelas (tipo de preparo da amostra no campo); letras minúsculas na horizontal: comparação de subparcelas dentro de cada subparcela.

Correlação das classes de agregados e índices de agregação com os teores de C-orgânico

A matéria orgânica é tida como um dos principais agentes de agregação das partículas do solo. Assim, em solos tropicais, é de se esperar que parte da variação do tamanho dos agregados e, por consequência, dos índices de agregação, seja atribuída à variação do conteúdo de matéria orgânica no solo. Os índices de agregação mostraram correlações altamente significativas com o C-orgânico (Quadro 7), confirmando os dados obtidos por Roth et al. (1986) e Carpenedo & Mielniczuk (1990).

As melhores correlações ocorreram na profundidade de 0-10 cm, não só para os índices de agregação, mas também para as classes de agregados, quando o preparo da amostra foi feito por meio da Pen 8. Tanto a classe de agregados < 0,25 mm como o índice IEA apresentaram boa correlação com a matéria orgânica nas duas profundidades, evidenciando que a matéria orgânica teve efeito positivo na agregação das partículas < 0,25 mm, em ambas as profundidades, exceto para Pen 8 na profundidade de 10-20 cm, que não mostrou nenhuma correlação com as classes de agregados ou com os índices de agregação. A correlação negativa com a classe de agregados < 0,25 mm indica que, com o aumento do C-orgânico, a massa dessa classe de agregados diminuiu, refletindo, em consequência, um aumento das classes de agregados com maior diâmetro e, portanto, dos índices de agregação.

Na profundidade de 0-10 cm, no preparo da amostra com Pen 8, cujas correlações eram significativas, verificou-se correlação negativa para as classes 1,0-0,5; 0,5-0,25 e < 0,25 mm, a indicar que, com o aumento do C-orgânico, essas classes de agregados diminuiriam. Da mesma maneira, a correlação positiva para as classes 2-1 e > 2,00 mm indicou um aumento dos agregados com o aumento do C-orgânico. Nessa profundidade, o teor de C-orgânico variou de 13,4 (S/T/S-PC) a 19,9 g kg⁻¹ (S/T/M-PD), com média de 16,4, enquanto, aos 10-20 cm, a variação foi de 10,5 (S/T/M-PC) a 15,6 g kg⁻¹ (S/T/M-PD), com média de 13,8. Mesmo assim, na profundidade de 10-20 cm, o mecanismo foi válido para a classe < 0,25 mm, resultando em um bom índice de correlação e refletindo, consequentemente, uma boa correlação para o IEA.

Aos 10-20 cm de profundidade, a baixa concentração de C-orgânico (Figura 1) não proporcionou boas correlações, apesar da boa agregação constatada nessa profundidade. Se não houve influência do C-orgânico na agregação à profundidade de 10-20 cm, então a

Quadro 7. Coeficientes de correlação das classes de tamanho dos agregados e dos índices de agregação com a quantidade de carbono orgânico em duas profundidades do solo

Preparo da amostra	Classe de tamanho dos agregados (mm)					Índice de agregação		
	> 2,0	2-1	1,0-0,5	0,5-0,25	< 0,25	DMP	DMG	IEA
0-10 cm								
Pen 4	0,732***	0,634**	-0,324 ^{ns}	-0,659***	-0,761***	0,746***	0,765***	0,749***
Pen 8	0,892***	0,617**	-0,627**	-0,869***	-0,815***	0,877***	0,847***	0,842***
10-20 cm								
Pen 4	0,461*	0,700**	0,116 ^{ns}	-0,441 ^{ns}	-0,823***	0,585**	0,681*	0,815***
Pen 8	0,228 ^{ns}	0,349 ^{ns}	0,071 ^{ns}	-0,246 ^{ns}	-0,368 ^{ns}	0,230 ^{ns}	0,346 ^{ns}	0,369 ^{ns}

Pen 4: preparo da amostra com peneira de malha 4 mm; Pen 8: preparo da amostra com peneira de malha 8 mm.

*** significativo a 0,1%; ** significativo a 1,0%; * significativo a 5%; ^{ns} não-significativo.

agregação existente decorreu de outros fatores, atuando ou não em conjunto com a matéria orgânica, tais como: natureza dos cátions presentes e seu poder de floculação, mineralogia do solo, ácidos orgânicos presentes e seus respectivos valores de pKa, interação de cátions polivalentes com argila e matéria orgânica humificada, atividade microbiológica e tipo de microrganismos presentes, e, ainda, ao comportamento do alumínio dependente do pH da solução do solo (Castro Filho, 1988). Além disso, na camada inferior, o alumínio poderia ter maior afinidade com as cargas negativas do solo do que o cálcio e magnésio, deslocando esses elementos para a solução e formando complexos orgânicos mais estáveis⁽⁴⁾, o que explicaria a alta taxa de agregação do solo naquela camada.

Para melhor compreensão dos resultados do quadro 7, as regressões lineares foram calculadas para a camada de 0-10 cm, verificando-se o coeficiente *b* das retas originadas entre as classes de tamanho de agregados preparados com Pen 8 e os teores de C-orgânico, que apresentaram melhor correlação. Para as classes de agregados 2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25 e < 0,25 mm, os coeficientes encontrados foram de 40,69; 5,51; -9,14; -14,07 e -23,66, respectivamente. O modelo usado para as regressões foi do tipo $y = a + bx$. As regressões geradas estão representadas na figura 2.

Observa-se que as classes de agregados > 2,0 mm e de 2-1 mm aumentaram com o teor de C-orgânico. Porém a classe > 2,0 mm aumentou com maior intensidade do que a classe 2-1 mm, indicando que, para uma variação positiva do teor de C-orgânico, a quantidade de agregados da classe > 2,0 mm cresceu cerca de 8 vezes mais que a da classe 2-1 mm, ao se comparar o coeficiente *b* das retas. As classes de agregados menores decresceram com o aumento de

C-orgânico e, entre estas, a reta da classe < 0,25 mm teve a maior taxa de inclinação negativa, seguida pelas retas das classes 0,5-0,25 e 1-0,5 mm. Esses resultados revelam que o processo de agregação do solo por meio da matéria orgânica tende a formar agregados grandes pela junção direta dos agregados da classe < 0,25 mm à classe > 2,0 mm, o que é também confirmado no quadro 3, onde não se observaram mudanças significativas entre os sistemas de plantio nas classes 1-0,5 e 0,5-0,25 mm, havendo, porém, uma diminuição significativa da classe de agregados > 0,25 mm com conseqüente aumento das classes 2-1 e > 2,0 mm em plantio direto. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Oades & Waters (1991), que concluíram não haver hierarquia de agregação em Oxissolos, isto é, não ocorre por etapas (os menores agregados juntando-se aos maiores e, assim, sucessivamente). A junção dos agregados da classe < 0,25 mm aos agregados da classe > 2,0 mm foi atribuída por aqueles autores (a partir de fotografias tiradas em microscópio eletrônico) ao efeito agregante de raízes e hifas de micorrizas vesículo-arbusculares, que interagem com partículas de argilas e silte por meio de mucilagens, produzindo agregados de alta estabilidade.

Pelo maior acúmulo de matéria orgânica e menor movimentação do solo, o plantio direto proporcionou agregação superior em relação ao convencional, independentemente da sucessão de culturas e do processo de preparo da amostra. Esse efeito do plantio direto tem sido realçado por vários estudos (Vieira, 1985; Castro et al., 1987; Castro, 1989; Muzilli, 1989). As sucessões de culturas, por outro lado, apresentam resultados variáveis em função da interação com o sistema de plantio. Tal variação parece estar relacionada não só com o maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo em plantio direto, mas também com o volume e distribuição de raízes ao longo do perfil cultural do solo, características de cada rotação.

⁽⁴⁾ Mário Miyazawa, pesquisador do IAPAR, comunicação pessoal, 1996.

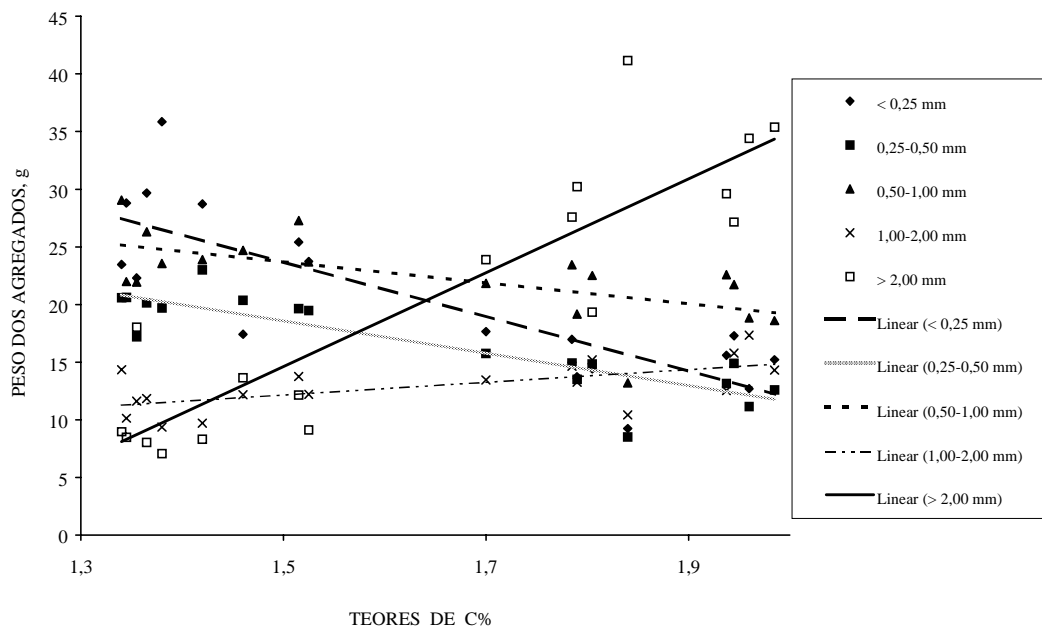


Figura 2. Comportamento das classes de agregados em função dos teores de C-orgânico (0-10 cm).

Analisando os quadros 2, 4 e 6, na camada de 0-10 cm, nota-se que a agregação foi maior em plantio direto quando a cultura do milho estava presente, em razão da maior quantidade de C-orgânico, resultante do acúmulo de resíduos vegetais com relação C/N mais alta. A presença de maior volume de resíduos vegetais na superfície em virtude do crescimento mais vigoroso das plantas e da sua não-incorporação no solo provocou alterações físico-químicas e biológicas na camada superior (primeiros 10 cm) do solo. Maior teor de umidade e melhor fertilidade do solo em sistema de plantio direto favorecem o desenvolvimento vegetativo das culturas, principalmente quando ocorrem estiagens (Muzilli et al., 1983). Em decorrência desse conjunto de fatores, a sucessão M/T/M foi melhor para manter as características edáficas, seguida da sucessão S/T/M.

Os dados obtidos também mostram que o preparo da amostra altera de maneira significativa os resultados de agregação. O preparo da amostra com Pen 4, quando comparado com Pen 8, destrói os agregados maiores, resultando em índices de agregação menores. Isso foi verificado em plantio direto, na camada de 0-10 cm, onde havia maior concentração de C-orgânico (Quadro 5). Por outro lado, na camada de 10-20 cm, em plantio convencional, dada a menor quantidade de matéria orgânica no solo, o uso da Pen 4 pode ter levado a uma compactação da amostra, fazendo com que os pequenos agregados se unissem, resultando em um IEA artificialmente maior, quando comparado ao preparo da amostra com Pen 8. É necessário, portanto, testar peneiras com malhas superiores,

para reduzir o rompimento dos agregados do solo e eliminar a compactação artificial, melhorando, assim, o preparo das amostras para obtenção de índices de agregação mais representativos.

Os valores de DMP e DMG mostraram a mesma tendência de comportamento da classe de agregados > 2,00 mm, indicando, conforme Alvarenga et al. (1986), que essa classe de agregados pode ser usada para, de maneira rápida, expressar o estado da agregação do solo. Contudo, o IEA que expressa a quantidade de agregados < 0,25 mm não pode ser interpretado pela classe > 2,00 mm, conforme mostraram os resultados do quadro 2, porque nem sempre, onde houve aumento do DMP e DMG, houve aumento do IEA. Além disso, quanto mais próximo da superfície, maior poderá ser o efeito da matéria orgânica do solo sobre o DMP dos agregados, conforme mostraram Carpenedo & Mielniczuk (1990) e Paladini & Mielniczuk (1991). Na camada inferior, as correlações com o teor de C-orgânico não seguiram a mesma tendência, mostrando que outros mecanismos de agregação estiveram em ação. Neste trabalho, os teores de C-orgânico explicaram a variação no peso dos agregados somente na camada de 0-10 cm (Figura 2).

Os índices de agregação são determinados para avaliar uma condição de manejo dada ao solo. Um mesmo tipo de manejo altera as características do solo de maneira diferente, conforme a profundidade. Neste trabalho, os índices de agregação variaram em função da profundidade. Portanto, esses índices refletem melhor os efeitos do manejo do solo na profundidade em que é feita a amostragem.

CONCLUSÕES

1. Pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, o sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação graças ao incremento do teor de C-orgânico, sobretudo na camada superior (0-10 cm) do solo onde, independentemente da sucessão de culturas, os valores de DMP e DMG foram significativamente superiores em relação aos do plantio convencional.

2. A agregação do solo tendeu a aumentar em plantio direto quando a sucessão de culturas incluiu espécie de relação C/N mais alta (milho).

3. O aumento do teor de C-orgânico resultou em aumento dos índices de agregação pela diminuição da classe de menor diâmetro (< 0,25 mm) e aumento das classes de diâmetro maior.

4. O método de preparo das amostras coletadas a 0-10 cm de profundidade detectou diferenças na agregação de partículas. O método de preparo com peneira 8 mm melhorou a sensibilidade para a determinação do estado de agregação em função dos processos de manejo do solo.

AGRADECIMENTO

Ao técnico José Carlos Gomes, da área de biometria do IAPAR, pelas análises estatísticas feitas.

LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. R. Bras. Ci. Solo, 10:273-277, 1986.
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M.L.P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. R. Bras. Ci. Solo, 8:133-138, 1984a.
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M.L.P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. R. Bras. Ci. Solo, 8:7-12, 1984b.
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W. & THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. Agr. J., 70:322-326, 1977.
- CANNEL, R.Q. & FINNEY, J.R. Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. Outlook Agric., 7:184-189, 1973.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 14:99-105, 1990.
- CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1407-1413, 1991.
- CASTRO FILHO, C. Effects of liming on characteristics of a Brazilian Oxisol at three levels of organic matter as related to erosion. Columbus, The Ohio State University, 1988. 261p. (Tese de Doutorado)
- CASTRO, O.M. Preparo do solo para a cultura do milho. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 41p. (Série Técnica 3)
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. & CANTARELLA, H. Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 23p. (Bol. Cient. 11)
- EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. J. Soil Sci., 18:64-73, 1967.
- EL-SWAIFY, S.A. & DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: Soil erosion prediction and control. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1977. p. 105-114 (Special publication, 21)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 2v. 1205p. (Boletim Técnico, 57)
- KEMPER, W.D. & W.S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.511-519.
- LAL, R. No-tillage effects on soil conditions and crop response on an Alfisol in Southern Nigeria. Am. Soc. Agron. Abstr., 1975. 38p.
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. R. Bras. Ci. Solo, 18:295-303, 1994.
- MOSCHLER, W.W.; SHEAR, G.M.; MARTENS, D.C.; JONES, G.D. & WILMOUTH, R.R. Comparative yield and fertilizer efficiency of no-tillage and conventionally tilled corn. Agr. J., 64:229-231, 1972.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, 7:95-102, 1983.
- MUZILLI, O. Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In: PARANÁ, Secretária da Agricultura e do Abastecimento. Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, IAPAR/SEAB, 1989. p.158-177.
- MUZILLI, O.; VIEIRA, M.J.; F.L.S. ALMEIDA; NAZARENO, N.R.X. DE; CARVALHO, A.O.R.; LAURENTI, A.C. & LLANILO, R.F. Comportamento e possibilidade da cultura do milho em plantio direto no Estado do Paraná. Pesq. Agropec. Bras., 18:41-47, 1983.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant Soil, 76:319-337, 1984.

- OADES, J.M. & WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 29:815-28, 1991.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. & FREDE, H.G. Efeito das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:163-166, 1986.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro, FUNDAÇÃO ABC, 1993. 96p.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tilled methods. *Agr. J.*, 61:524-526, 1969.
- SIDIRAS, N & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.*, 17:429-441, 1979.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TRIPLETT Jr., G.B. & DOREN Jr., D.M. van. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agr. J.*, 61:637-639, 1969.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLY, A.L., ed. *Atualização em plantio direto*. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Proc. Soil. Sci. Soc. Am.*, 33:131-137, 1969.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, Agricultural Research Service, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282)
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agr.*, 28:337-351, 1936.