

PROPRIEDADES FÍSICAS E TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DE UM ARGISSOLO VERMELHO SOB DISTINTOS SISTEMAS DE USO E MANEJO⁽¹⁾

Mellissa Ananias Soler da Silva⁽²⁾, Álvaro Luiz Mafra⁽³⁾, Jackson Adriano Albuquerque^(3,6), Jaqueline Dalla Rosa⁽⁴⁾, Cimélio Bayer^(5,6) & João Mielniczuk^(5,6)

RESUMO

A conservação do solo e a produtividade das culturas podem ser negativamente afetadas por mudanças causadas à composição e arranjos dos constituintes do solo por diferentes sistemas de manejo. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da intensidade de revolvimento sobre atributos físicos e teor de carbono orgânico (CO) do solo. O experimento foi realizado por 17 anos em Eldorado do Sul (RS), num Argissolo Vermelho de textura média sob diferentes sistemas de manejo: preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e semeadura direta (SD), utilizando a sucessão de culturas ervilhaca-milho. Uma área de campo nativo (CN), adjacente às parcelas agrícolas, foi utilizada como testemunha. As amostras de solo foram coletadas antes do estabelecimento da cultura de verão, nas camadas de 0–2,5, 2,5–7,5, 7,5–12,5 e 12,5–17,5 cm de profundidade. As propriedades avaliadas foram: teor de carbono orgânico, densidade do solo e de partículas, macro, micro e porosidade total, grau de floculação e estabilidade de agregados. Os sistemas de preparo não influenciaram a densidade e a porosidade total do solo, mas a distribuição do tamanho de poros variou conforme a profundidade de amostragem. A macroporosidade foi maior no preparo convencional em relação ao preparo reduzido e semeadura direta somente na camada de 7,5–12,5 cm, e os microporos foram mais abundantes de 0–2,5 cm na semeadura direta em relação aos demais sistemas. A adoção da semeadura direta aumentou a estabilidade de agregados da

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC/CAV. Trabalho apresentado no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Ribeirão Preto (SP), de 13 a 18/07/2003. Recebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em fevereiro de 2006.

⁽²⁾ Pós-Graduanda em Ciência do Solo, Universidade Federal de Goiás – UFGO. Caixa Postal 131, CEP 74001-970 Goiânia (GO). Bolsista da Capes. E-mail: melsoler@hotmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV. Av. Luiz de Camões 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2alm@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Estudante de Agronomia, UDESC/CAV. Bolsista de Iniciação Científica, PROPED/UDESC.

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

⁽⁶⁾ Pesquisador do CNPq.

camada superficial do solo em relação ao preparo convencional, mediante a elevação no teor de carbono orgânico.

Termos de indexação: estabilidade de agregados, porosidade, semeadura direta.

SUMMARY: SOIL PHYSICAL PROPRIETIES AND ORGANIC CARBON CONCENTRATION OF A RED ACRISOL UNDER DIFFERENT USES AND MANAGEMENT SYSTEMS

Both soil conservation and crop productivity may negatively be affected by changes caused to soil characteristics by management techniques. The objective of this study was to evaluate the influence of soil tillage on soil physical attributes and organic carbon contents. The experiment was carried out over a period of 17 years in Eldorado do Sul County (RS) in a loamy Acrisol under different management systems: conventional tillage, reduced tillage and no-tillage, using vetch-maize in crop succession. An area of native grassland adjacent to the agricultural plots was used as a control. The soil samples were collected in September before sowing the summer crop, from 0–2.5, 2.5–7.5, 7.5–12.5 and 12.5–17.5 cm deep soil layers. The evaluated soil properties were organic carbon contents, bulk and particle densities, macro, micro and total porosity, flocculation degree, and aggregate stability. The soil management systems had no effect on soil density and total porosity, but the pore size distribution was dependent on the sampling depth. Soil macroporosity in conventional tillage as compared to reduced tillage and no-tillage was only higher in the layer of 7.5 to 12.5 cm, and micropores were more abundant at a soil depth of 0 to 2.5 cm in no tillage in relation to other tillage systems. The use of no-tillage systems increased aggregate stability in the surface layer (0–2.5 cm) compared to conventional tillage and was related to the increase in soil organic carbon contents.

Index terms: aggregate stability, porosity, no-tillage.

INTRODUÇÃO

O uso agrícola das terras altera, normalmente, as propriedades do solo, dependendo das condições edáficas e climáticas. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultam em mudanças na composição e arranjo dos constituintes do solo, que podem, em alguns casos, prejudicar a conservação desse recurso natural e reduzir a produtividade das culturas (Reinert, 1998).

Dentre as propriedades físico-mecânicas do solo, salienta-se a formação de unidades estruturais compostas, ou agregados, as quais são separadas por superfícies de fraqueza e determinam a distribuição e o tamanho dos poros. Dessa forma, a estabilidade desses agregados decorre da aproximação e cimentação das partículas do solo mediante atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos (Silva & Mielniczuk, 1998). A intensidade desses mecanismos influencia a resistência das unidades estruturais ante as forças desagregantes, que podem ser advindas da abrasão por implementos agrícolas, do impacto das gotas de chuva, bem como do cisalhamento pelo fluxo de água, e, ou, pela entrada de água nos agregados (Kemper & Chepil, 1965). Esses fatores são, em grande parte,

alterados pelos sistemas de manejo adotados, não só por efeito direto do revolvimento mecânico ocasionado durante o preparo do solo, que favorece sua degradação, principalmente por ação da erosão hídrica, mas também pelas modificações no ambiente edáfico, por influência dos sistemas de culturas (Lima et al., 2003).

Por outro lado, em condições de alta produção de fitomassa e adição de resíduos, são favorecidos os mecanismos biológicos envolvidos na estabilização dos agregados (Basso & Reinert, 1998; Campos et al., 1999). Nesse caso, a melhoria estrutural beneficia as espécies cultivadas pelas modificações na dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta e nos fluxos de gases e água.

O equilíbrio entre os fatores relacionados com a agregação do solo, diminuída notadamente com o preparo do solo, ou estimulada pela atuação de processos biológicos, é particularmente importante em solos com baixos teores de matéria orgânica e argila, como Argissolos com textura superficial arenosa e acentuado gradiente textural. Dessa forma, vários estudos recentes desenvolvidos na região sul do Brasil têm evidenciado a influência dos sistemas de manejo sobre propriedades físicas do solo, em especial sobre a forma e estabilidade dos agregados.

O aumento na estabilidade de agregados em água pela adoção da semeadura direta (SD) em relação ao preparo convencional (PC) foi observado por Campos et al. (1995) e Da Ros et al. (1997) num Latossolo Vermelho distrófico argiloso da região de Cruz Alta (RS). Este aumento foi diretamente relacionado com o incremento do teor de carbono orgânico e da atividade biológica no solo não revolvido. De maneira semelhante, Castro Filho et al. (1998), trabalhando num Latossolo Vermelho distroférrico de Londrina (PR), observaram aumento no tamanho dos agregados estáveis em água pela adoção da SD em comparação com o PC após 14 anos de adoção dos sistemas. As maiores diferenças foram constatadas na camada de 0–10 cm de profundidade, reforçando o papel da adição de resíduos orgânicos e da proteção superficial do solo pela palhada. Num relato recente, apresentado por Costa et al. (2003), avaliando sistemas de preparo do solo em experimento de longa duração (21 anos), num Latossolo Bruno argiloso da região de Guarapuava, PR, verificou-se efeito positivo da SD, resultando em aumento de duas vezes no tamanho médio dos agregados analisados por peneiramento úmido, em comparação ao PC.

Dessa forma, tem-se evidenciado sensibilidade das propriedades físicas do solo em relação às alterações provocadas pelo uso agrícola no pedoambiente, servindo como bom indicador da qualidade do solo (D'Andréa et al., 2002). A magnitude dessas mudanças tem sido variável conforme o tipo de solo, condições climáticas, tempo de uso e sistemas de manejo adotados (Kay, 1990).

O objetivo deste estudo foi avaliar as modificações das propriedades físicas relacionadas com a estrutura e agregação e teor de CO de um Argissolo, após 17 anos sob sistemas de manejo, em comparação a uma área de campo nativo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Eldorado do Sul (RS), coordenadas 30° 5' 52" Sul e 51° 38' 8" Oeste, num experimento instalado em 1985 num Argissolo Vermelho distrófico, representativo da Depressão Central, com características físicas degradadas pelo cultivo convencional intenso desde 1970. O material de origem do solo é granito e o relevo é suave ondulado, com altitude de 46 m. O clima é do tipo mesotérmico úmido com verão quente, Cfa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.440 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). A distribuição textural é: 540 g kg⁻¹ de areia, 240 g kg⁻¹ de silte e 220 g kg⁻¹ de argila, com textura franco-argilo-arenosa. O solo da área experimental apresenta como composição química: pH_{H₂O}: 5,2; Al³⁺: 0,3; H + Al: 4,8, Ca²⁺: 4,6 e Mg²⁺: 1,6 cmol_c dm⁻³.

Os tratamentos consistiram de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e semeadura direta (SD), conferindo diferentes intensidades de revolvimento e incorporação de resíduos culturais ao solo. A seqüência de culturas utilizada foi ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e milho (*Zea mays* L.), passando a ervilhaca ser utilizada a partir do inverno de 1991, em substituição ao trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*). O preparo convencional foi efetuado com uma aração na profundidade de 17–20 cm, seguida por duas gradagens. O preparo reduzido foi realizado com escarificador na profundidade de 15–20 cm, seguido de uma gradagem superficial, a menos de 5 cm de profundidade, para nivelamento. As operações mecânicas foram efetuadas antes da instalação da cultura do milho. O mecanismo sulcador da semeadora foi discos duplos. Adicionalmente, foi avaliado um campo nativo (CN) adjacente à área agrícola, representando a condição original do solo. As unidades experimentais foram parcelas de 5 x 20 m. A análise dos resultados foi feita em blocos casualizados, com três repetições.

As amostras foram coletadas em setembro de 2002, imediatamente antes da realização dos preparos de solo para o plantio do milho (cultura de verão), nas camadas de 0–2,5, 2,5–7,5, 7,5–12,5 e 12,5–17,5 cm de profundidade, sendo uma amostra em cada parcela, o que representa três repetições de cada tratamento em cada camada.

As avaliações consistiram da determinação do teor de carbono orgânico, pelo método da combustão úmida (Tedesco et al., 1995); da densidade do solo, analisada pelo método do anel volumétrico e da densidade de partículas, avaliada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). A microporosidade foi determinada em mesa de tensão de areia, com sucção de 6 kPa, enquanto a porosidade total foi calculada pela relação entre as densidades do solo e de partículas. A macroporosidade foi obtida por diferença entre porosidade total e microporosidade (Embrapa, 1997). A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro, com estimativa da argila dispersa em suspensão com água destilada, e da argila total, usando-se hidróxido de sódio como dispersante. O grau de flocculação foi calculado com base nas quantidades de argila dispersa em água e total (Embrapa, 1997).

A estabilidade de agregados foi determinada pelos métodos de peneiramento úmido e seco. O peneiramento úmido foi realizado, conforme Carpenedo & Mielniczuk (1990), em 50 g de agregados com dimensão ≤ 8 mm, num jogo de peneiras de malhas 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,125 mm. Os teores de areia e cascalho correspondentes a cada fração granulométrica foram subtraídos do peso seco dos agregados. No peneiramento seco, a amostra inicial, com 50 g de agregados com dimensão ≤ 8 mm, foi disposta sobre um conjunto de peneiras com

malhas 4,75; 2; 1 e 0,25 mm, e agitada num vibrador “Produtest”, com frequência de 60 Hz, durante 1 min por amostra, conforme Silva & Mielniczuk (1997a).

A estabilidade dos agregados foi determinada em duas subamostras de agregados selecionados em laboratório a partir de cada amostra coletada no campo, sendo representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e pela relação entre DMP úmido e DMP seco, que constitui o índice de estabilidade de agregados (IEA). Quanto maior o valor deste índice, maior é a estabilidade das unidades estruturais em água, mostrando sensibilidade às alterações estruturais advindas do manejo.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilkinson. A análise de variância foi feita pelo teste F, com comparação de médias por Duncan ($P < 0,05$) para efeito dos sistemas de manejo dentro de cada profundidade. A variação pela profundidade de amostragem foi avaliada pela análise de regressão para cada sistema de manejo. Utilizou-se teste de correlação de Pearson para verificar possíveis relações entre as diferentes propriedades avaliadas. Para estabilidade de agregados foi ainda realizada análise de regressão múltipla, verificando-se a contribuição de cada variável no comportamento desta propriedade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico do solo (C_{org}) variaram de 0,8 a 1,95 $dag\ kg^{-1}$ (Figura 1), o que pode ser relacionado com a textura franco-argilo-arenosa (elevado teor de areia), que confere menor ligação dos componentes orgânicos com os constituintes coloidais minerais, e, portanto, menor proteção física, facilitando sua decomposição microbiana (Bayer et al., 2000).

Os sistemas de manejo afetaram o teor de carbono orgânico no solo na camada superficial de 0–2,5 cm, onde os resíduos culturais se concentravam. Após 17 anos de instalado o experimento, os teores de carbono orgânico mostraram-se semelhantes no sistema de semeadura direta, em relação ao observado no campo nativo (CN), e maiores em relação ao preparo convencional (PC) e ao preparo reduzido (PR), na camada superficial do solo. Os teores de C_{org} decresceram em profundidade em todos os sistemas de manejo (Figura 1). No solo sob semeadura direta, este decréscimo foi mais evidente na camada superficial (0 a 7,5 cm), seguindo um modelo inverso de primeira ordem, o que também se ajustou para o PC. No PR e CN, os teores de carbono orgânico no solo decresceram linearmente em profundidade. Tais resultados podem ser relacionados com a intensidade de preparo e incorporação dos resíduos culturais ao solo.

A densidade do solo variou de 1,35 a 1,67 $kg\ dm^{-3}$, com efeito dos sistemas de manejo só na profundidade de 2,5–7,5 cm (Figura 2). Nesta profundidade, a maior densidade do solo foi verificada na SD em relação ao CN, possivelmente por efeito das pressões aplicadas pelas máquinas, modificando o arranjo das partículas do solo. A densidade do solo aumentou em profundidade, independentemente do sistema de manejo, e teve correlação negativa com o teor de carbono orgânico ($r = -0,70^{**}$, Quadro 1), possivelmente por influência dos constituintes orgânicos na estruturação e agregação do solo.

A densidade do solo não foi influenciada pela intensidade de revolvimento do solo (PC, PR ou SD), o que concorda com outros estudos que comparam sistemas de preparo do solo (Albuquerque et al., 1995; Costa et al., 2003), mas difere de outros trabalhos em que se tem observado maior densidade superficial do solo sob SD em relação ao PC, fato atribuído à compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas (Tormena et al., 1998; Rojas & van Lier, 1999), ou ainda, pelo pisoteio animal nas áreas pastejadas (Albuquerque et al., 2001).

Analisando a distribuição de tamanho de poros, o solo estudado apresentou macroporosidade variável entre as profundidades analisadas, de 0,09–0,22 $m^3\ m^{-3}$ (Quadro 2). Os sistemas de manejo não diferiram entre si com relação a esta propriedade física, exceto na camada de 7,5–12,5 cm de

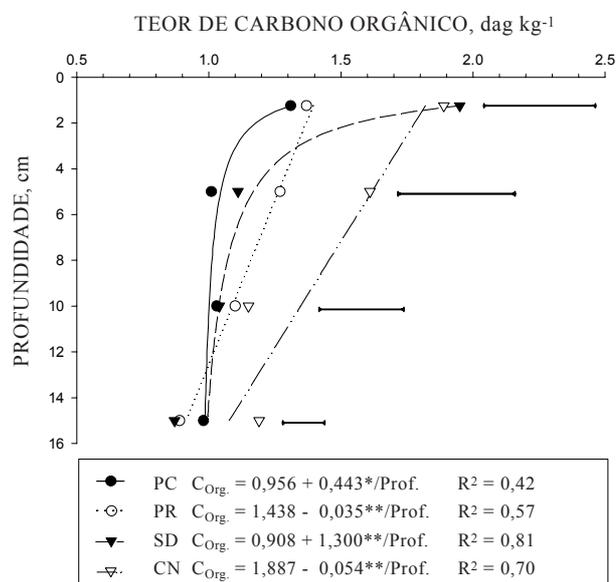


Figura 1. Teor de carbono orgânico, em diferentes profundidades do solo sob diferentes sistemas de manejo. Os pontos representam as médias sob diferentes sistemas de manejo dos tratamentos ($n = 3$). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade, calculadas pelo teste de Duncan a 5%. * e **: significativos a 5 e 1%.

Quadro 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos do solo, sob diferentes sistemas de manejo e profundidades

Atributo	DMPs	IEA	C _{Org}	DS	GF	Mi	Ma	PT	AT
DMP _u	-0,22 0,13	0,92 < 0,01	0,63 < 0,01	-0,28 0,05	0,31 0,03	0,53 < 0,01	0,07 0,67	0,30 0,04	0,04 0,78
DMP _s		-0,52 < 0,01	-0,56 < 0,01	0,52 < 0,01	-0,07 0,63	-0,49 < 0,01	-0,43 < 0,01	-0,55 < 0,01	0,12 0,41
IEA			0,75 < 0,01	-0,45 < 0,01	0,29 0,04	0,63 < 0,01	0,22 0,13	0,46 < 0,01	-0,02 0,91
C _{Org}				-0,70 < 0,01	0,27 0,06	0,65 < 0,01	0,56 < 0,01	0,73 < 0,01	-0,08 0,61
D _s					-0,30 0,04	-0,59 < 0,01	-0,84 < 0,01	-0,90 < 0,01	0,13 0,37
GF						0,24 0,09	0,19 0,19	0,26 0,07	0,54 < 0,01
Mi							0,32 0,03	0,70 < 0,01	-0,04 0,80
Ma								0,89 < 0,01	-0,20 0,18
PT									-0,17

Na primeira linha de cada variável, estão os coeficientes de correlação e, na segunda linha, as probabilidades. DMP_u = diâmetro médio ponderado via úmido; DMP_s = diâmetro médio ponderado via seco; IEA = índice de estabilidade dos agregados; C_{Org} = carbono orgânico; DS = densidade do solo; GF = grau de flocculação; Mi = microporosidade; Ma = macroporosidade; PT = porosidade total; AT = argila total.

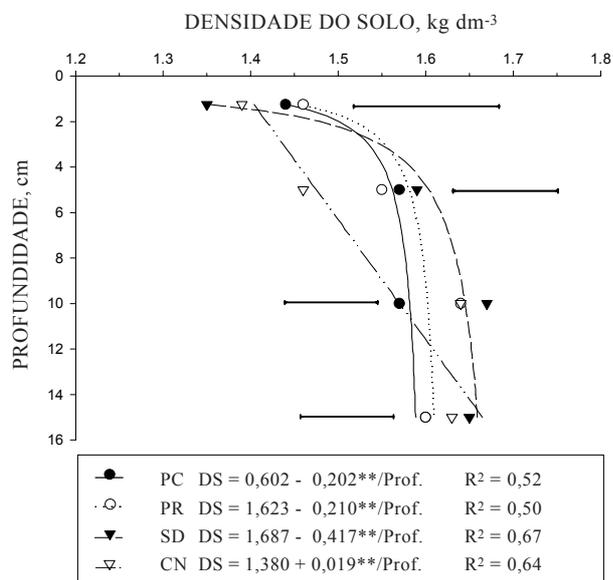


Figura 2. Densidade do solo, em diferentes profundidades sob diferentes sistemas de manejo. Os pontos representam a média dos tratamentos (n = 3). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade, calculadas pelo teste de Duncan a 5 %. **: significativo a 1 %.

profundidade, com maior macroporosidade no PC em relação aos demais sistemas. Isto pode ser atribuído ao efeito residual do revolvimento do solo. A variação da quantidade de macroporos em profundidade foi significativa somente no solo sob campo nativo, seguindo um ajuste linear negativo. A macroporosidade esteve inferior a 0,10 m³ m⁻³ apenas no campo nativo, na camada de 12,5–17,5 cm, podendo esse valor ser considerado como limite crítico restritivo para o crescimento e produtividade das culturas (Taylor & Ashcroft, 1972).

A microporosidade variou de 0,25 a 0,32 m³ m⁻³, com influência dos sistemas de manejo, à exceção da camada de 7,5–12,5 cm de profundidade. Na camada de 0–2,5 cm de profundidade, a microporosidade foi maior na SD e CN em relação ao PC e PR. Já em subsuperfície, de 12,5–17,5 cm de profundidade, a microporosidade sob SD foi inferior à do campo nativo.

A porosidade total (PT) variou de 0,36 a 0,51 m³ m⁻³ sem interferência dos sistemas de manejo (Quadro 2), diminuindo da camada superficial para a subsuperfície, exceto no preparo reduzido. A PT, assim como a macroporosidade, foi positivamente correlacionada com C_{Org} (r = 0,73**), revelando estreita dependência entre a quantidade de poros e a dinâmica da matéria orgânica

Quadro 2. Distribuição da macro, micro e porosidade total do solo, sob diferentes sistemas de manejo e profundidades

Tratamento	Profundidade (cm)				Equação	R ²	P > t
	0-2,5	2,5-7,5	7,5-12,5	12,5-17,5			
Macroporosidade, m ³ m ⁻³							
PC	0,22 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,14 a	0,13 ^{ns}	Ma = 0,135 + 0,061/Prof	0,22	0,12
PR	0,18	0,15	0,12 b	0,13	Ma = 0,112 + 0,036/Prof	0,29	0,11
SD	0,20	0,14	0,11 b	0,11	Ma = 0,123 + 0,069/Prof	0,20	0,14
CN	0,19	0,14	0,10 b	0,09	Ma = 0,157 - 0,0038 Prof	0,44	0,02
Microporosidade, m ³ m ⁻³							
PC	0,28 b	0,28 b	0,26 ^{ns}	0,26 ab	Mi = 0,286 - 0,0018 Prof	0,37	0,04
PR	0,29 b	0,28 b	0,28	0,28 a	Mi = 0,277 + 0,017/Prof	0,44	0,06
SD	0,31 a	0,28 b	0,26	0,25 b	Mi = 0,254 + 0,068/Prof	0,71	< 0,01
CN	0,31 a	0,32 a	0,28	0,28 a	Mi = 0,324 - 0,0032 Prof	0,34	0,05
Porosidade total, m ³ m ⁻³							
PC	0,50 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,39 ^{ns}	PT = 0,400 + 0,087/Prof	0,36	0,04
PR	0,47	0,43	0,40	0,41	PT = 0,390 + 0,053/Prof	0,29	0,07
SD	0,51	0,42	0,37	0,36	PT = 0,377 + 0,137/Prof	0,47	0,01
CN	0,50	0,46	0,38	0,37	PT = 0,481 - 0,007 Prof	0,62	< 0,01

PC = preparo convencional; PR = preparo reduzido; SD = semeadura direta; CN = campo nativo. As letras minúsculas comparam tratamentos em uma mesma profundidade por meio do teste de Duncan a 5%; ns = não-significativo.

(Quadro 1). Houve correlação negativa ($r = -0,90^{**}$), da PT com a densidade do solo.

O grau de flocculação de argila manteve-se entre 19 e 47%, sem variação entre os sistemas de manejo na camada de 0-7,5 cm de profundidade (Figura 3). Em subsuperfície, o grau de flocculação foi maior no campo nativo em relação ao PC e PR na camada de 7,5-12,5 cm. A variação dessa propriedade em profundidade foi significativa somente no PC e CN. Salienta-se que o grau de flocculação de argila não se correlacionou com nenhuma das outras propriedades avaliadas (Quadro 1). Nesse solo, os possíveis fatores reguladores da flocculação foram de ordem química e mineralógica.

O diâmetro médio ponderado dos agregados avaliado por peneiramento úmido (DMPu) variou de 0,25-1,55 mm (Figura 4). Na camada superficial do solo (0-2,5 cm), observa-se maior DMPu para CN (1,48 mm), seguido por SD (0,96 mm), PR (0,63 mm) e PC (0,50 mm). Esta redução da estabilidade de agregados, quando se compararam SD e PC, também foi constatada em estudo prévio realizado nesta área por Silva & Mielniczuk (1997b). Nas demais profundidades, os três sistemas agrícolas foram semelhantes entre si, diferindo apenas do CN, com maior estabilidade dos agregados. O DMPu decresceu em profundidade na SD, mas não variou significativamente nos tratamentos PC, PR, e CN.

O maior DMPu para o CN, em todas as profundidades avaliadas, relaciona-se com variações

na matéria orgânica, conforme evidenciado pela correlação positiva ($r = 0,63^{**}$) entre DMPu e os teores

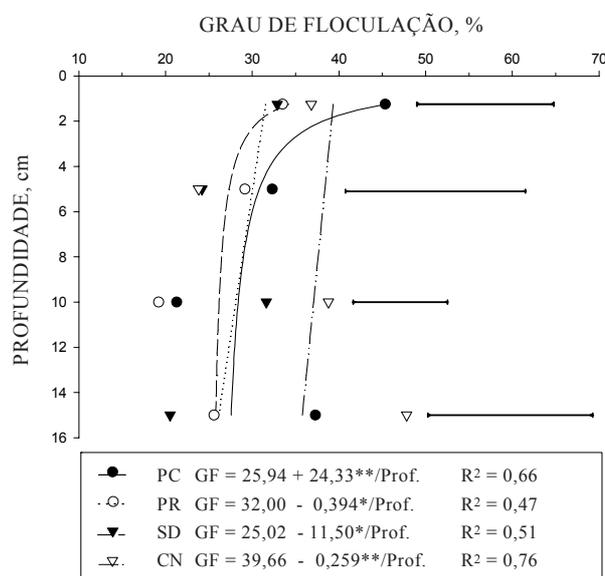


Figura 3. Grau de flocculação do solo, em diferentes profundidades, sob diferentes sistemas de manejo. Os pontos representam as médias dos tratamentos (n = 3). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade, calculadas pelo teste de Duncan a 5%. * e **: significativos a 10 e 1%.

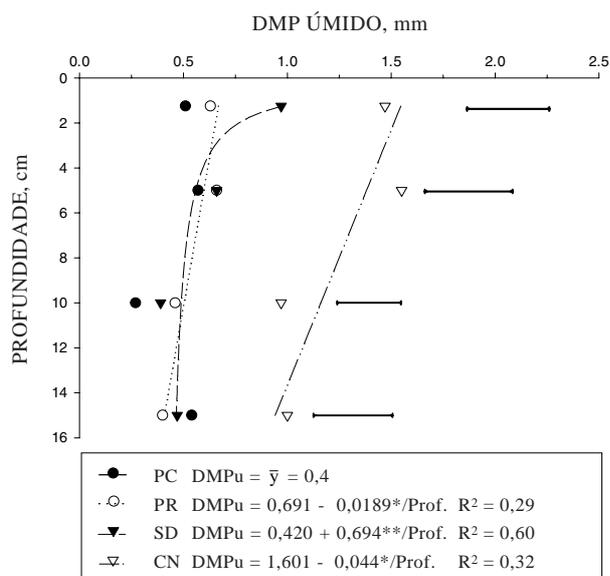


Figura 4. Estabilidade de agregados indicada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) obtido por peneiramento úmido sob diferentes sistemas de manejo, em diferentes profundidades. Os pontos representam as médias dos tratamentos (n = 3). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade calculadas pelo teste de Duncan a 5%. * e **: significativos a 10 e 1%.

de C_{Org.}, o que está em conformidade com Carpenedo & Mielniczuk (1990), Silva & Mielniczuk (1997b) e Castro Filho et al. (1998).

Quando se fez ordenamento das variáveis relacionadas com o DMPu, verificou-se maior contribuição do C_{Org.} no modelo de regressão múltipla, com R² de 0,38. As demais variáveis que tiveram contribuição significativa (P = 0,15) foram Ma, GF, AN e Mi, porém com menor contribuição em relação ao C_{Org.} (Quadro 3). Destaca-se, assim, o papel dos constituintes orgânicos na formação e estabilização de agregados, especialmente no solo sob vegetação natural e em sistemas conservacionistas, pelo acúmulo de resíduos culturais em superfície e menor mobilização do solo para sua incorporação. Entretanto, deve-se considerar que a contribuição do C_{Org.} para a agregação do solo, para uma mesma classe textural e mineralogia, depende de sua origem e natureza (Tisdall & Oades, 1982), do tipo de preparo do solo (Dexter, 1988), da aplicação ou não de calcário (Albuquerque et al., 2000), dentre outros fatores.

Já para o diâmetro médio dos agregados obtido por peneiramento seco (DMPs), observou-se variação de 1,9 a 3,4 mm (Figura 5), evidenciando diferença entre os sistemas estudados somente em subsuperfície, de 12,5–17,5 cm de profundidade, com

Quadro 3. Ordenamento das variáveis relacionadas com a estabilidade de agregados do solo obtido pela análise de regressão múltipla, pelo procedimento “stepwise”. Todas as variáveis presentes no modelo foram significativas a 0,15

Ordem	Variável	R ² parcial	R ² modelo	Prob.>F
DMPu				
1	C _{Org.}	0,38	0,38	< 0,01
2	Ma	0,07	0,45	0,02
3	GF	0,03	0,48	0,11
4	AN	0,05	0,53	0,04
5	Mi	0,04	0,57	0,07
DMPs				
1	C _{Org.}	0,29	0,29	< 0,01
2	AN	0,06	0,35	0,05
3	DS	0,04	0,39	0,11
4	GF	0,03	0,42	0,13
5	Ma	0,03	0,45	0,14

DMPu: diâmetro médio ponderado úmido; DMPs: diâmetro médio ponderado seco; C_{Org.} = carbono orgânico; Ma = macroporosidade; GF = grau de floculação; AN = argila natural; Mi = microporosidade; DS = densidade do solo.

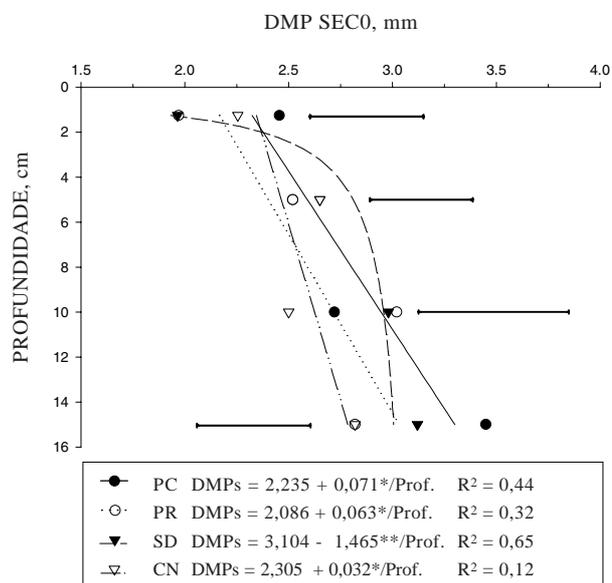


Figura 5. Estabilidade de agregados indicada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) obtido por peneiramento seco sob diferentes sistemas de manejo, em diferentes profundidades. Os pontos representam as médias dos tratamentos (n = 3). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade calculadas pelo teste de Duncan a 5%. * e **: significativos a 5 e 1%.

maior diâmetro médio dos agregados no PC em relação ao CN e PR. O DMPs aumentou em profundidade, nos tratamentos PC e SD, mostrando relação inversa com os teores de C_{org} ($r = -0,56^{**}$), e direta com a densidade do solo ($r = 0,52^{**}$, Quadro 1). A estabilidade dos agregados a seco seria relacionada com a coesão entre as partículas do solo, muito embora não se tenha observado correlação entre teor de argila e DMPs. Assim, agregados de maior tamanho podem ser obtidos, em alguns casos, por ação de forças de compressão e não pela ação biológica de raízes e microrganismos (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

O índice de estabilidade de agregados (IEA), que é a relação DMPu/DMPs, variou de 0,12 a 0,66, sendo maior no campo nativo em relação ao dos demais sistemas agrícolas em todas as camadas avaliadas (Figura 6). Na camada superficial do solo, o IEA foi maior na SD em relação ao PR e PC, evidenciando a influência positiva de sistemas conservacionistas sobre a agregação do solo. O IEA diminuiu em profundidade nos tratamentos PR, SD e CN.

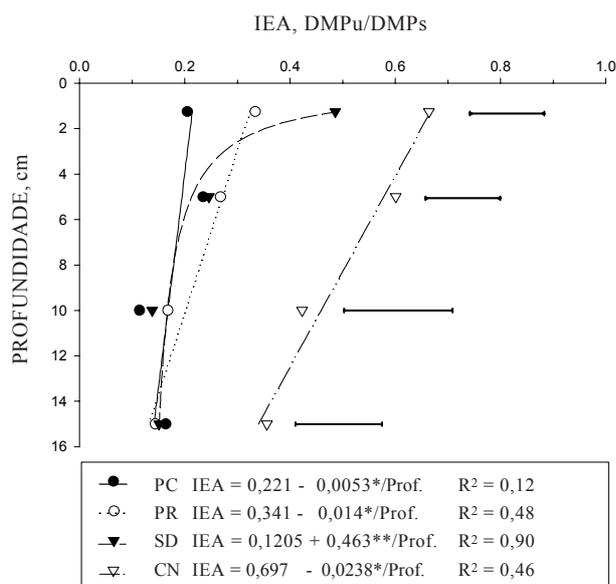


Figura 6. Índice de estabilidade de agregados, em diferentes profundidades, sob diferentes sistemas de manejo. Os pontos representam as médias dos tratamentos (n = 3). As barras horizontais indicam diferenças mínimas significativas entre tratamentos em uma mesma profundidade, calculadas pelo teste de Duncan a 5 %. * e **: significativos a 5 e 1 %.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo não influenciaram a densidade e a porosidade total do solo, mas a distribuição do tamanho de poros, em profundidade. A macroporosidade foi maior no preparo convencional em relação ao preparo reduzido e semeadura direta na camada de 7,5–12,5 cm, e os microporos foram mais abundantes de 0–2,5 cm na semeadura direta em relação aos demais sistemas.

2. A adoção da semeadura direta aumentou a estabilidade de agregados da camada superficial do solo em relação ao preparo convencional, o que teve relação com a elevação no teor de carbono orgânico.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 24:295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da interação lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- BASSO, C.J. & REINERT, D.J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo podzólico. Ci. Rural, 28:567-571, 1998.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. R. Bras. Ci. Solo, 24:599-607, 2000.
- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. Agroclima da Estação Experimental Agronômica. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.
- CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R. & CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:383-391, 1999.
- CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.

- 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.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:527-538, 1998.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N. & FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no Sul do Estado de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1047-1054, 2002.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:241-247, 1997.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.*, 12:1-41, 1990.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Monograph, 9)
- LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:199-205, 2003.
- REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.163-176.
- ROJAS, C.A.L. & van Lier, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um podzólico em função de sistemas de preparo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 5:105-115, 1999.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:113-117, 1997a.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:313-319, 1997b.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. *Physical edaphology: The physics of irrigated and nonirrigated soils*. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.