

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOB PREPARO CONVENCIONAL E SEMEADURA DIRETA EM ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS, COMPARADAS ÀS DO CAMPO NATIVO⁽¹⁾

I. BERTOL⁽²⁾, J. A. ALBUQUERQUE⁽³⁾, D. LEITE⁽⁴⁾,
A. J. AMARAL⁽⁴⁾ & W. A. ZOLDAN JUNIOR⁽⁴⁾

RESUMO

Em solos que apresentam características naturais favoráveis ao cultivo, o preparo convencional degrada as propriedades físicas, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. A semeadura direta, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém consolida a camada superficial. Este trabalho foi desenvolvido em um Cambissolo Húmico aluminico léptico, de maio de 1995 a abril de 2001. Os tratamentos de manejo do solo foram: preparo convencional com uma aração+duas gradagens em rotação de culturas (PCR) e em sucessão (PCS), semeadura direta em rotação de culturas (SDR) e em sucessão (SDS) e campo nativo (CN). A seqüência de cultivo nos tratamentos foi: PCR - feijão/pousio/milho/pousio/soja/pousio; PCS - milho/pousio/milho/pousio/milho/pousio; SDR - feijão/aveia/milho/nabo/soja/ervilhaca e, na SDS, milho/ervilhaca/milho/ervilhaca/milho/ervilhaca. No CN, a área foi pastejada até o momento da instalação do experimento, permanecendo em pousio com roçadas periódicas depois disso. Em abril de 2001, foram avaliados a densidade do solo, o volume de macroporos, microporos e total de poros, o teor de carbono orgânico e a estabilidade de agregados em água, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-30 cm. Na camada de 0-10 cm, a densidade do solo foi maior na SDS e SDR e igual no PCS e PCR, enquanto o volume total de poros e de macroporos foi igual na SDS e SDR, em relação ao CN. Nessa camada, a relação volume de macroporos/total de poros foi maior no PCS e PCR do que na SDS, SDR e CN. Na

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, FINEP e Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Recebido para publicação em abril de 2003 e aprovado em novembro de 2003.

⁽²⁾ Professor de Uso e Conservação do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Avenida Luiz de Camões 2090, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor de Física do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC. E-mail: a2jaa@cav.udesc.br.

⁽⁴⁾ Aluno da Faculdade de Agronomia do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC. Bolsista de Iniciação Científica CNPq-PIBIC.

média das camadas estudadas, o teor de carbono orgânico e a estabilidade dos agregados foram maiores na SDS, SDR e CN do que no PCS e PCR. No PCS e PCR, o índice de sensibilidade para estabilidade de agregados foi expressivamente menor do que a unidade, enquanto, na SDS e SDR, os valores foram próximos à unidade, indicando a sustentabilidade da semeadura direta no que se refere à estabilidade dos agregados em água. Os sistemas de cultivo não influenciaram as propriedades físicas do solo.

Termos de indexação: densidade de solo, porosidade, estabilidade de agregados em água, qualidade do solo.

SUMMARY: PHYSICAL SOIL PROPERTIES OF CONVENTIONAL TILLAGE AND NO-TILLAGE, IN CROP ROTATION AND SUCCESSION, COMPARED WITH NATURAL PASTURE

In soils with naturally favorable characteristics for cultivation, conventional tillage degrades the physical soil properties, since this management system causes the rupture of aggregates, soil compaction, and eliminates soil cover. No-tillage, on the other hand, maintains soil cover and improves physical properties, but consolidates the surface layer. Our study was conducted on a Haplumbrept soil, from May 1995 to April 2001. Five soil tillage treatments were used: conventional tillage crop rotation (CTR), conventional tillage crop succession (CTS), no-tillage crop rotation (NTR), no-tillage crop succession (NTS), and natural pasture (NP), in four replications each. The crop sequences were bean/fallow/maize/fallow/soybean/fallow in CTR, maize/fallow/maize/fallow/maize/fallow in CTS, bean/oat/maize/turnip/soybean/vetch in NTR and maize/vetch/maize/vetch/maize/vetch in NTS. Soil density, macroporosity, microporosity, total porosity, organic carbon, and water aggregate stability (MWD) were evaluated in April 2001 for the soil layers 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15, 15-20, and 20-30 cm. In the 0-10 cm layer, soil density was higher in no-tillage than conventional tillage and natural pasture, while macroporosity, total porosity, and the macroporosity/total porosity relation was higher in conventional tillage in the mean for cropping systems, in this layer. Organic carbon, MWD, and sensibility index for MWD means of layers and tillage systems were higher in no-tillage and natural pasture than in conventional tillage.

Index terms: soil density, porosity, water aggregate stability, soil quality.

INTRODUÇÃO

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, tal como aquele encontrado em campos nativos. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

Os preparos convencionais rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente na resistência dos agregados do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Estes sistemas de preparo aumentam o volume de poros dentro da camada preparada (Bertol et al., 2000), a permeabilidade e o armazenamento de ar e facilitam o crescimento das

raízes das plantas nessa camada (Braunack & Dexter, 1989), em relação à semeadura direta e ao campo nativo. No entanto, abaixo da camada preparada, contrariamente ao que ocorre na semeadura direta e no campo nativo, essas propriedades apresentam comportamento inverso da superfície (Dalla Rosa, 1981; Bertol et al., 2000; Costa et al., 2003). Além disso, os aspectos positivos dos preparos convencionais são perdidos, quando o solo, descoberto pelo efeito do preparo, é submetido às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas, diminuem a taxa de infiltração de água (Duley, 1939; Bertol et al., 2001) e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica (Bertol et al., 1997), em relação aos outros sistemas de manejo do solo.

Os preparos de solo conservacionistas, tal como a semeadura direta, com menor revolvimento, mantêm, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais

na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (Lal & Greenland, 1979; Castro Filho et al., 1998). Na maioria dos sistemas de semeadura direta, a ausência quase que completa de preparo por longo tempo reduz o volume de macroporos e eleva a densidade do solo (Bertol et al., 2001) e a estabilidade dos agregados na superfície (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Costa et al., 2003), refletindo-se em boa qualidade do solo em relação ao preparo convencional e ao campo nativo (D'Andréa et al., 2002).

As alterações negativas nas propriedades físicas do solo no sistema semeadura direta, associadas à menor rugosidade superficial, podem facilitar o escoamento superficial da água das chuvas, especialmente se a quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo for pequena e se não forem adotadas práticas conservacionistas de suporte. No entanto, na semeadura direta, a maior estabilidade dos agregados e a continuidade dos poros (Albuquerque et al., 1995; Campos et al., 1995; Costa, 2001) favorecem a infiltração de água e dificultam o escoamento superficial (Schick et al., 2000) em relação ao preparo convencional e, muitas vezes, em relação também ao campo nativo.

O sistema de cultivo com rotação ou sucessão também altera as propriedades físicas do solo. Em Latossolos Vermelho-Escuros, Campos et al. (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade dos agregados, enquanto Albuquerque et al. (1995) observaram maior volume de macroporos e menor densidade do solo, nos sistemas de rotações de culturas comparados às sucessões.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na densidade do solo, volumes de macroporos, microporos e total de poros, estabilidade dos agregados em água e teor de carbono orgânico, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido ao preparo de solo convencional e à semeadura direta, ambos com rotação e sucessão de culturas por seis anos, comparando-as com as propriedades encontradas em um campo nativo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre maio de 1995 e abril de 2001, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico, situado a 27 ° 49 ' de latitude Sul e 50 ° 20 ' de longitude Oeste, com 937 m de altitude média, na região do Planalto Sul Catarinense. Na camada de 0-30 cm, o solo apresenta, em média, 443 g kg⁻¹ de argila total, 402 g kg⁻¹ de silte, 155 g kg⁻¹ de areia e densidade de partículas de 2,75 g cm⁻³.

As parcelas experimentais dos tratamentos preparo convencional e semeadura direta medem 6,5 m de largura por 14,5 m de comprimento

(94,25 m²). A área de campo nativo, testemunha, mede 13 m de largura por 29 m de comprimento (377 m²), equivalente às quatro repetições dos demais tratamentos.

Os tratamentos de manejo do solo estudados, distribuídos inteiramente ao acaso, com quatro repetições foram: preparo convencional executado com uma aração e duas gradagens em rotação de culturas (PCR); preparo convencional executado com uma aração e duas gradagens em sucessão de culturas (PCS); semeadura direta em rotação de culturas (SDR), e semeadura direta em sucessão de culturas (SDS). No PCR, adotou-se a seqüência feijão/pousio/milho/pousio/soja/pousio e, no PCS, milho/pousio/milho/pousio/milho/pousio. No PCR e PCS, o resíduo da parte aérea do milho era removido da área experimental imediatamente após a colheita, simulando a prática da ensilagem, permanecendo no solo as soqueiras da cultura. Na SDR, adotou-se a seqüência feijão/aveia/milho/nabo/soja/ervilhaca e, na SDS, milho/ervilhaca/milho/ervilhaca/milho/ervilhaca. O tratamento de campo nativo (CN) foi pastejado até o início do presente experimento (1995), permanecendo em pousio com roçadas periódicas desde então. As principais espécies vegetais constituintes do campo nativo são o *Axonopus affinis*, *Paspalum dilatatum* e *Desmodium* spp.

Em abril de 2001, as amostras do solo foram coletadas nas entrelinhas da cultura do milho, nos tratamentos PCR, PCS, SDR e SDS e no CN, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-30 cm. As amostras foram coletadas em um ponto em cada repetição dos tratamentos PCR, PCS, SDR e SDS e em quatro pontos aleatórios no CN, totalizando 20 amostras em cada profundidade. Foram determinados a densidade do solo, o volume de macroporos, microporos e total de poros, o teor de carbono orgânico e a estabilidade de agregados em água.

A densidade do solo e o volume de macroporos, microporos e total de poros foram determinados em amostras do solo indeformadas, coletadas em anel volumétrico com 5 cm de diâmetro e alturas de 2,5 e 5 cm, dependendo da espessura da camada amostrada, conforme o método de (Blake & Hartge, 1986). Com auxílio da mesa de tensão, mediu-se o volume de microporos, pesando-se a quantidade de água retida na amostra submetida à sucção de 0,6 m de coluna de água durante quatro dias. Após, as amostras foram secas a 105 °C e pesadas para calcular a densidade do solo.

O volume total de poros foi calculado relacionando a densidade do solo e a densidade de partículas e subtraindo o resultado da unidade, enquanto o volume de macroporos foi calculado pela diferença entre o volume total de poros e o volume de microporos, tendo sido calculada, ainda, a proporção entre o volume de macroporos e total de poros.

O teor de carbono orgânico do solo foi determinado por combustão úmida pelo método de Tedesco et al. (1995), enquanto a estabilidade de agregados em água, expressa pelo diâmetro médio ponderado (DMP), foi determinada pelo método proposto por Yoder (1936) e modificado por Kemper & Chepil (1965), utilizando um conjunto de quatro peneiras com abertura de malhas de 4,76; 2,00; 1,00 e 0,25 mm, com 40 oscilações verticais por minuto, durante 10 min.

Para verificar se os valores de DMP dos tratamentos com cultivo do solo (PCR, PCS, SDR e SDS) foram diferentes daqueles do CN, foi calculado o "índice de sensibilidade" sugerido por Bolinder et al. (1999). Este índice utiliza o princípio da comparação relativa entre tratamentos e é calculado pela seguinte expressão:

$$I_s = \frac{a_s}{a_c}$$

em que I_s é o índice de sensibilidade; a_s é o valor do DMP do solo considerado em cada sistema de manejo testado (PCR, PCS, SDR e SDS), e a_c é o valor do DMP do solo no CN. O valor do referido índice maior do que a unidade (um) significa que a estabilidade dos agregados aumentou e, quando menor, diminuiu.

Os efeitos dos tratamentos de manejo do solo sobre as suas propriedades físicas foram testados por meio de análise da variância. Analisaram-se, separadamente, os efeitos das profundidades em cada tratamento e dos tratamentos em cada profundidade. Quando as variáveis foram estatisticamente diferentes, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5%. Na discussão dos resultados, os dados referentes aos tratamentos PCR, PCS, SDR e SDS foram comparados, em termos relativos, aos do CN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo foi maior na semeadura direta (SDS e SDR) do que no preparo convencional (PCS e PCR) e do que no CN (Figura 1), considerando a média da profundidade do solo estudada, concordando com Bertol et al. (2000) e Albuquerque et al. (2001). Este comportamento deveu-se à pressão exercida no solo pelo trânsito de máquinas e de pessoas durante o período experimental, bem como à consolidação do solo, considerando a ausência quase que completa de preparo na semeadura direta. A menor densidade no preparo convencional foi influenciada, por outro lado, pelo revolvimento do solo executado antes da semeadura das culturas e pela ausência de tráfego de máquinas após o

preparo. No caso do CN, a baixa densidade é explicada pela presença de grande quantidade de raízes, especialmente próximas à superfície do solo que, embora pastejado antes da instalação do experimento, ainda manteve a densidade em valores menores do que no solo cultivado. Albuquerque et al. (1995), trabalhando em Latossolo Vermelho-Escuro, e Costa (2001), em Latossolo Bruno, no entanto, não observaram aumento da densidade na semeadura direta comparada ao do preparo convencional, indicando que a influência da composição granulométrica e mineralógica depende do tipo de solo no processo de compactação.

Na profundidade de 0-10 cm, a densidade do solo foi 19% maior na semeadura direta do que no preparo convencional, na média dos sistemas de cultivo, indicando que, nessa camada, ocorreu maior diferença de densidade entre os tratamentos do que na média das camadas estudadas (Figura 1). Isto indica a presença de uma camada de maior compactação a partir dos 10 cm de profundidade no preparo convencional, em contraste à compactação relativamente uniforme em toda a profundidade estudada na semeadura direta, concordando com Dalla Rosa (1981) e Bertol et al. (2000).

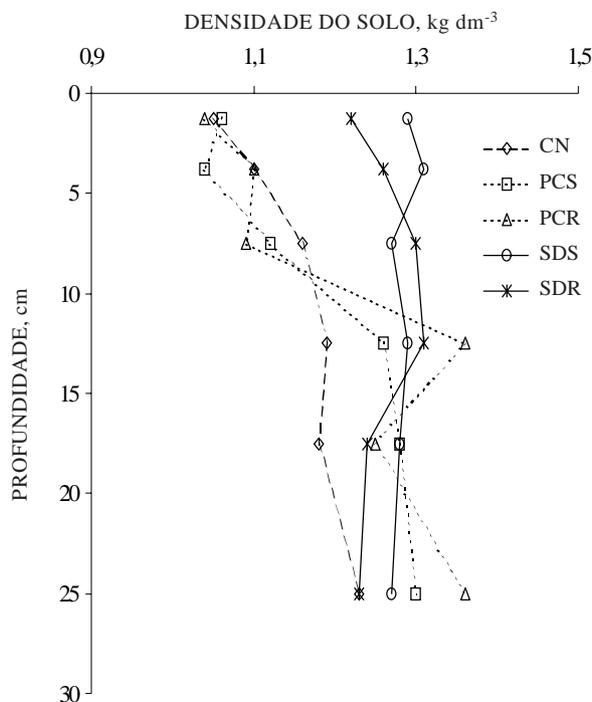


Figura 1. Densidade do solo em diferentes profundidades, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo. CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

Em relação ao CN, a semeadura direta aumentou a densidade do solo em 16 % (na média da SDS e SDR) na profundidade de 0-10 cm, enquanto, nas camadas inferiores, os valores foram, em média, 8 % maiores no preparo convencional (na média do PCS e PCR) do que no CN (Figura 1), indicando compactação nesses dois sistemas de manejo, nas respectivas camadas abordadas, concordando com dados de Dalla Rosa (1981) e Fernandes et al. (1983).

Em geral, as rotações de culturas apresentam melhores resultados do que as sucessões sobre as propriedades físicas do solo. No presente trabalho, no entanto, o sistema de cultivo não influenciou a densidade do solo (Figura 1). Assim, o efeito do sistema de cultivo (rotação e sucessão de culturas) está sendo mais lento do que o efeito do sistema de manejo (semeadura direta e preparo convencional), em modificar a densidade do solo em relação ao campo nativo. Portanto, para que tal efeito se manifeste, é provável que seja necessário realizar o experimento por período de tempo mais longo.

Os volumes de macroporos, microporos e total de poros foram influenciados pelo manejo do solo (Quadro 1), em decorrência da alteração ocorrida na densidade (Figura 1). Na profundidade de 0-10 cm, o volume de macroporos foi 2,4 e 1,8 vez maior no preparo convencional (na média do PCS e PCR) do que na semeadura direta (na média da SDS e SDR) e CN, respectivamente, enquanto o volume de microporos foi, respectivamente, 16 e 20 % maior na semeadura direta e CN e, o volume total de poros, respectivamente, 14 e 3 % maior no preparo convencional e CN. Isto indica que o efeito do manejo do solo foi mais expressivo sobre o volume de macroporos do que sobre o volume de microporos, total de poros e densidade do solo, concordando com Dalla Rosa (1981), Fernandes et al. (1983) e Bertol et al. (2000). Os menores volumes de macroporos e de total de poros, com conseqüente maior volume de microporos na superfície do solo, na semeadura direta, justificam a forte redução da taxa de infiltração de água neste sistema de manejo em

Quadro 1. Volume de macroporos, microporos e total de poros em diferentes profundidades em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR	C.V.
cm	dm ³ dm ⁻³					%
Macroporos						
0-2,5	0,12	0,27 Aa	0,26 Aa	0,11 Ba	0,11Ba	25
2,5-5	0,15	0,29 Aa	0,25 Aa	0,11 Ba	0,12 Ba	15
5-10	0,09	0,14 Ab	0,12 Ab	0,05 Ba	0,05 Bb	45
10-15	0,08	0,05 Ac	0,05 Ac	0,05 Aa	0,06 Aab	43
15-20	0,10	0,09 Ac	0,06 Ac	0,06 Aa	0,08 Aab	31
20-30	0,07	0,10 Abc	0,05 Ac	0,09 Aa	0,08 Aab	46
Média	0,10	0,16	0,14	0,08	0,08	-
C.V. (%)		27	21	49	35	-
Microporos						
0-2,5	0,46	0,35 Bb	0,35 Bb	0,42 Ab	0,44 Abc	7
2,5-5	0,45	0,34 Bb	0,34 Bb	0,42 Ab	0,42 Ac	4
5-10	0,47	0,45 Aa	0,47 Aa	0,49 Aa	0,47 Aab	10
10-15	0,48	0,48 Aa	0,48 Aa	0,48 Aa	0,46 Aab	7
15-20	0,47	0,46 Aa	0,49 Aa	0,48 Aa	0,49 Aa	6
20-30	0,48	0,44 Aa	0,46 Aa	0,47 Aa	0,47 Aab	8
Média	0,47	0,42	0,43	0,46	0,46	-
C.V. (%)		11	7	5	6	-
Total de poros						
0-2,5	0,58	0,62 Aab	0,61 Aa	0,52 Ba	0,55 Ba	6
2,5-5	0,61	0,63 Aa	0,62 Aa	0,53 Ba	0,54 Ba	3
5-10	0,57	0,59 Ab	0,59 Aa	0,54 Ba	0,52 Ba	4
10-15	0,56	0,53 Ac	0,53 Ac	0,53 Aa	0,52 Aa	7
15-20	0,57	0,55 Ac	0,55Ab	0,54 Aa	0,57 Aa	5
20-30	0,55	0,54 Abc	0,51 Bc	0,56 Aa	0,55 Aa	4
Média	0,57	0,58	0,57	0,54	0,54	-
C.V. (%)		3	5	6	3	-

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

relação ao preparo convencional, constatada por Bertol et al. (2000) em trabalho desenvolvido neste mesmo experimento. Isto indica que a semeadura direta pode apresentar perda de água por erosão hídrica, quando submetida a chuvas de grande volume, principalmente se o solo já estiver úmido e, ou, se a cobertura do solo não for suficiente para controlar o escoamento, podendo, então, apresentar, também, perdas de solo, conforme constatado por Schick et al. (2000).

Todos os tratamentos e o campo nativo apresentaram volumes de macroporos abaixo daquele considerado ideal (Quadro 1), cerca de $0,33 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, ou seja, 1/3 do volume total de poros, conforme sugerido por Taylor & Aschcroft (1972). Este valor seria limitante ao desenvolvimento radicular, pela reduzida taxa de difusão de gases no solo e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas. Esse problema foi grave em todas as camadas na semeadura direta e CN e, no caso do preparo convencional, principalmente na camada de 10-30 cm, onde o volume médio de macroporos foi de $0,07 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$, ou seja, equivalente a apenas 21 % daquele considerado ideal por Taylor & Aschcroft (1972). Estes dados indicam possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, desenvolvimento das raízes das culturas nas camadas desses tratamentos, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que $0,10 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$.

A pequena variação no volume da microporos (Quadro 1), em relação à variação ocorrida no volume de macroporos, entre os sistemas de manejo e cultivo, indica que esta variável foi modificada mais lentamente e com menor intensidade do que os macroporos, pelo manejo, fato também constatado por Bertol et al. (2001). O volume de microporos relativamente alto, presente em praticamente todas as camadas dos tratamentos estudados (exceção da camada de 0-10 cm nos tratamentos PCS e PCR), indica a possibilidade de ocorrência de capilaridade no solo.

Assim como no caso da densidade do solo, a porosidade não foi afetada pelo sistema de cultivo (rotação e sucessão de culturas), tanto na semeadura direta quanto no preparo convencional, indicando que talvez seja necessário um período de tempo mais longo de realização do experimento para que a rotação de culturas expresse seu benefício, em relação à sucessão, sobre essa variável.

A possível ocorrência de compactação do solo também pode ser observada, quando se analisam as relações entre o volume de macroporos e o total de poros (Figura 2), cujos valores, em todos os tratamentos e profundidades, com exceção do PCS e PCR na camada de 0-5 cm, foram inferiores a 0,33, valor citado por Taylor & Aschcroft (1972) como ideal. A compactação ocorreu pelo tráfego de máquinas e de pedestres na superfície do solo na semeadura

direta, por animais na superfície no CN (antes da instalação do experimento) e, no caso do preparo convencional, abaixo dos 10 cm, por máquinas e equipamentos durante as operações de preparo do solo.

O teor de carbono orgânico foi 27 % maior na semeadura direta e 54 % maior no campo nativo do que no preparo convencional, na média dos sistemas de cultivo, na camada de 0-10 cm (Quadro 2) e, na camada de 0-2,5 cm, essas diferenças foram maiores, ou seja, respectivamente, 56 e 77 %. Isto é explicado principalmente pela ausência de revolvimento do solo no caso da SDS e SDR, permitindo a manutenção e a acumulação de resíduos vegetais na superfície do solo, bem como pelo revolvimento do solo no PCS e PCR que incorporou os resíduos e acelerou sua decomposição, concordando com Bayer & Mielniczuk (1997). Essa diferença no teor de carbono orgânico foi influenciada, ainda, pela diferença nas quantidades de resíduos culturais incorporados nos sistemas de manejo referidos (maiores na SDS e SDR), conforme relatado por Bertol et al. (2000), já que no PCS e PCR parte dos resíduos foi removida das áreas.

Na média dos sistemas de cultivo e profundidades estudadas, o teor de carbono orgânico foi 16 % maior na semeadura direta e 38 % maior no campo nativo do que no preparo convencional (Quadro 2), o que revela acentuada vantagem da semeadura direta na incorporação do carbono ao solo em relação ao

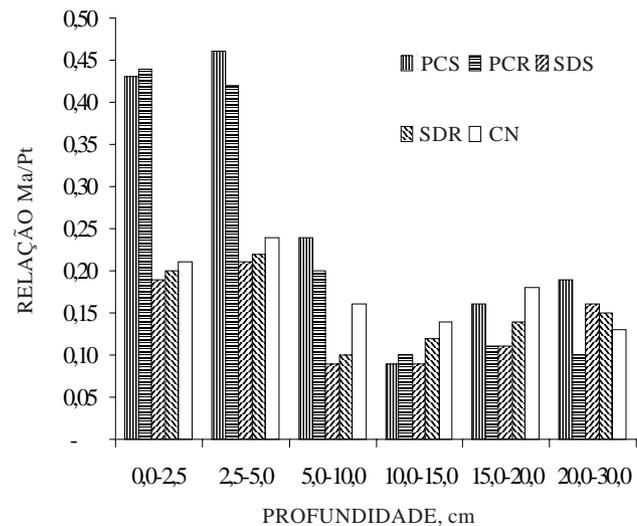


Figura 2. Relação volume de macroporos (Ma)/ volume total de poros (Pt) em diferentes profundidades, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo. PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas; CN: campo nativo.

Quadro 2. Teores de carbono orgânico em diferentes profundidades, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR	C.V.
cm	g kg ⁻¹					%
0-2,5	38,1	21,5 Ca	21,6 Ca	32,2 Ba	35,2 Aa	5
2,5-5	32,0	20,4 Ba	21,1 Ba	25,5 Ab	24,1 Ab	8
5-10	28,8	21,7 Aa	22,4 Aa	24,2 Abc	22,8 Acb	8
10-15	26,7	22,5 Aa	21,6 Aa	21,3 Ade	22,9 Acb	7
15-20	26,1	21,0 Aa	20,6 Aa	20,4 Ae	21,5 Acb	11
20-30	23,0	20,3 Aa	17,9 Ab	22,6 Acd	20,5 Ac	13
Média	29,1	21,2	20,9	24,5	24,5	-
C.V. (%)		7	7	6	8	-

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

preparo convencional. Em profundidade, a SDS, SDR e CN apresentaram gradiente de concentração de carbono orgânico entre as camadas, revelando a acumulação superficial, enquanto no PCS e PCR ele foi distribuído de maneira relativamente uniforme nas camadas estudadas, concordando com outros trabalhos (Dalla Rosa, 1981; Bertol et al., 2001).

Comparando os sistemas de cultivo (rotação e sucessão) em cada um dos sistemas de manejo do solo (semeadura direta e preparo convencional), observa-se que a rotação de culturas não influenciou o teor de carbono orgânico, em relação à sucessão, com exceção da semeadura direta na camada de 0-2,5 cm (Quadro 2), o que é compreensível, pois a quantidade é mais importante do que a qualidade de resíduos vegetais incorporados ao solo, no que se refere à sua influência sobre o teor de matéria orgânica. Também é necessário considerar que, no preparo convencional com rotação (PCR) e na semeadura direta com rotação (SDR), havia mais leguminosas incluídas no sistema de cultivo do que nos sistemas de manejo do solo envolvendo sucessão de culturas (PCS e SDS).

A estabilidade da estrutura varia com as características intrínsecas do solo e com os sistemas de manejo e cultivo. O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) é um dos índices que indica a estabilidade da estrutura frente à ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo à erosão hídrica. No entanto, um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta adequada distribuição de tamanho de poros no seu interior, o que implica a qualidade estrutural.

O DMP foi 27 % maior na semeadura direta (na média da SDS e SDR) do que no preparo convencional (na média do PCS e PCR), na média das profundidades estudadas, e, em relação ao CN, o DMP foi semelhante (Quadro 3). Isto pode ser

explicado pelo menor teor de carbono orgânico (Quadro 2) e pelo periódico revolvimento mecânico do solo no PCS e PCR, enquanto na SDS, SDR e CN este comportamento foi influenciado pela ausência de preparo e pelo maior teor de carbono. O carbono orgânico é um dos principais fatores de formação e estabilização dos agregados, sendo comum encontrar-se correlação positiva entre essas duas variáveis (Tisdall & Oades, 1980). Além disso, na ausência de preparo, os ciclos de umedecimento e secagem do solo possivelmente são potencializados e consolidam a agregação.

Os valores de índice de sensibilidade foram 23 % menores do que a unidade no preparo convencional (na média do PCS e PCR e das profundidades estudadas - Figura 3), demonstrando o efeito prejudicial desse sistema de manejo sobre a estrutura do solo, concordando com Costa (2001). Na semeadura direta, por outro lado, em todas as camadas analisadas, os valores médios do referido índice foram próximos à unidade (na média da SDS e SDR), demonstrando que este sistema de manejo manteve a resistência dos agregados do solo semelhante àquela do CN. A ausência de revolvimento do solo, maior teor de carbono orgânico (Quadro 2), menor e contínua taxa de mineralização da matéria orgânica e menor perda de solo por erosão hídrica na semeadura direta (Schick et al., 2000) são fatores que podem explicar este comportamento. É importante ressaltar que, no PCS e PCR, na camada de 20-30 cm, onde, em geral, não houve revolvimento mecânico, a densidade do solo foi semelhante, porém o DMP foi menor do que na SDS e SDR, tanto na rotação quanto na sucessão de culturas. Para compreender este comportamento, recomenda-se efetuar estudos sobre o sistema radicular das culturas, bem como sobre os fluxos de água, nutrientes e carbono orgânico nesses tratamentos.

Quadro 3. Diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água em diferentes profundidades, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR	C.V.
cm	mm					%
0-2,5	6,08	4,80 Ba	3,71 Cc	5,80 ABa	6,00 Aa	13
2,5-5	6,06	4,91 Ba	4,35 Cabc	5,69 Aa	5,98 Aa	6
5-10	5,97	4,94 Ba	4,90 Bab	5,94 Aa	5,84 Aa	7
10-15	6,03	4,64 Ba	4,64 Babc	5,87 Aa	5,99 Aa	8
15-20	6,24	5,21 Aa	5,21 Aa	6,13 Aa	6,05 Aa	10
20-30	5,76	4,69 Ba	3,94 Cbc	5,93 Aa	5,73 Aa	7
Média	6,02	4,87	4,46	5,89	5,93	-
C.V. (%)		7	14	4	5	-

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

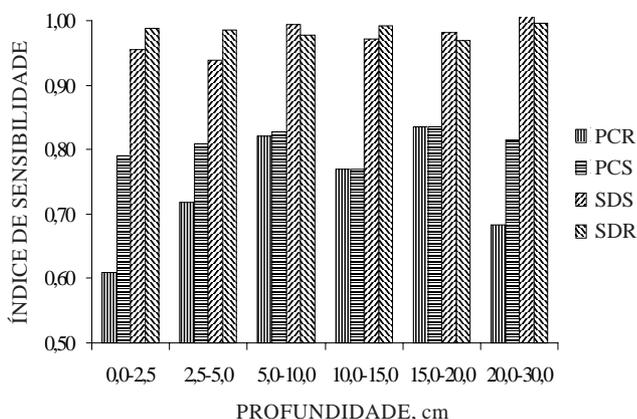


Figura 3. Índice de sensibilidade para diâmetro médio ponderado de agregados, em um Cambissolo Húmico aluminico léptico submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo, em relação ao campo nativo. PCR: preparo convencional rotação de culturas; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

CONCLUSÕES

1. As propriedades físicas do solo são alteradas pelo manejo: na camada de 0-10 cm, a densidade do solo é maior na semeadura direta do que no preparo convencional e campo nativo, enquanto, nas camadas subsuperficiais, esta variável apresenta valores maiores no preparo convencional do que na semeadura direta e campo nativo; nessa camada, a semeadura direta reduz o volume de macroporos em relação ao preparo convencional e ao campo nativo, refletindo-se na redução do volume total de poros e no aumento do volume de microporos.

2. O teor de carbono orgânico é maior na semeadura direta e no campo nativo do que no preparo convencional, especialmente na superfície do solo, diminuindo com a profundidade em todos os sistemas de manejo; esta variável influencia o diâmetro médio ponderado de agregados, o qual é menor no preparo convencional do que na semeadura direta e no campo nativo, cuja maior diferença encontra-se na superfície do solo.

3. O índice de sensibilidade, para o diâmetro médio ponderado de agregados, demonstra que o preparo convencional implica maior degradação do solo do que a semeadura direta, em relação ao campo nativo.

4. O sistema de cultivo, compreendido como rotação e sucessão de culturas, não influencia, em geral, as propriedades físicas do solo, tanto na semeadura direta quanto no preparo convencional.

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.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Sci. Agric., 58:555-560, 2001.

- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ci. Rural, 30:91-95, 2000.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. Can. J. Soil Sci., 79:37-45, 1999.
- BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. Soil Tillage Res., 14:259-279, 1989.
- CAMPOS, B.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. & PADANOSCHI, 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. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 27:527-535, 2003.
- DALLA ROSA, A. Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo, Solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo distrófico). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 138p. (Tese de Mestrado)
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, 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.
- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4:60-64, 1939.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. & MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição de poros de dois solos ("Tipic Argia-quoll" e "Tipic Haplu-dalf"). R. Bras. Ci. Solo, 7:329-333, 1983.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, Cap.39, p.499-510. (Agronomy, 9)
- LAL, R. & GREENLAND, B.J. Soil physical properties and crop production in tropics. Chischester, John Willey, 1979. p.7-85.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. R. Bras. Ci. Solo, 24:427-436, 2000.
- 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. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. Aust. J. Soil Res., 18:415-422, 1980.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Agron., 28:337-351, 1936.