

COMISSÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ROTAÇÃO DE CULTURAS E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO: EFEITO SOBRE A FORMA DA ESTRUTURA DO SOLO AO FINAL DE SETE ANOS⁽¹⁾

J. A. ALBUQUERQUE⁽²⁾, D. J. REINERT⁽³⁾, J. E. FIORIN⁽⁴⁾,
J. RUEDELL⁽⁴⁾, C. PETRERE⁽⁴⁾ & F. FONTINELLI⁽⁵⁾

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido de 1985 a 1991/92 na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP) Fecotrigo, Cruz Alta (RS), em latossolo vermelho-escuro distrófico, com os objetivos de analisar o impacto da rotação de culturas e de sistemas de manejo do solo, sobre a forma de sua estrutura, medida pela densidade, macro- e microporosidade e condutividade hidráulica saturada. Foram estudados os sistemas de manejo do solo, plantio direto e manejo convencional e rotação de culturas de inverno e de verão. Os sistemas de manejo do solo não apresentaram diferenças de densidade do solo, porosidade total, macro- e microporosidade. O comportamento dos esquemas de rotação foi diferente para cada sistema de manejo do solo: os maiores valores de condutividade hidráulica foram observados nas parcelas com rotação comparados às parcelas com sucessão trigo/soja. A sucessão trigo/soja apresentou maior densidade do solo e menor porosidade total que os esquemas de rotação de culturas.

Termos de indexação: plantio direto, manejo convencional, parâmetros físicos do solo, latossolo vermelho-escuro.

SUMMARY: CROP ROTATION AND SOIL MANAGEMENT SYSTEMS: EFFECTS ON SOIL STRUCTURE FORM AFTER SEVEN YEARS

This study was carried out from 1985 to 1991/92, at the Agricultural Experiment Station, of "Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa" (FUNDACEP), Cruz Alta, State of Rio Grande do Sul, Brazil, with the objective of measuring the impact of crop rotation and soil management systems on soil structure form. Bulk density, porosity and saturated hydraulic conductivity were evaluated under the conventional and no-tillage managements, and, summer and winter crop rotations. Bulk density, and total, macro and microporosity, were not affected by soil management. Crop rotation induced differences for each soil management studied. Saturated hydraulic conductivity was higher in soils under crop rotation than in those with wheat-soybean succession. These latter had higher bulk density and lower total porosity than soil under crop rotation.

Index terms: no-tillage, conventional tillage, soil physical parameters, Dark-Red Latosol, long term experiments.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado na IX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Jaboticabal, SP, julho de 1992. Recebido para publicação em fevereiro e aprovado em dezembro de 1994.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). CEP 97119-900 Santa Maria (RS).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da UFSM. CEP 97119-900 Santa Maria (RS). Bolsista de pesquisa do CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisador da FUNDACEP Fecotrigo, Caixa Postal 10, CEP 98100-970 Cruz Alta (RS).

⁽⁵⁾ Laboratorista do Laboratório de Física de Solos da UFSM, CEP 97119-900 Santa Maria (RS).

INTRODUÇÃO

As principais características físicas responsáveis pela porosidade e infiltração de água no solo são a textura e a estrutura. Para favorecer o crescimento das culturas, são necessárias práticas que atuem sobre a estrutura do solo.

A degradação da estrutura causa perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo amenizam esses problemas e agem no sentido de restaurar-lhe a estrutura. A condição estrutural pode ser analisada segundo dois aspectos: avaliações de parâmetros relacionados à forma da estrutura, como densidade do solo e porosidade, e avaliações de parâmetros relacionados à estabilidade da estrutura.

Para que os sistemas agrícolas sejam estáveis e continuamente produtivos, é necessário manter as condições físicas do solo, adicionar os nutrientes conforme a necessidade da cultura e controlar a erosão por métodos efetivos que não tornem oneroso o processo de produção.

Estudos recentes indicam que a adequada cobertura do solo por resíduos culturais pode prevenir sua erosão, manter o conteúdo de matéria orgânica e permitir a sustentabilidade das culturas. Para manter o solo coberto com palha, recomenda-se o uso de sistema de manejo conservacionista como plantio direto, com economia de tempo, combustível e trabalho. A manutenção dos resíduos de culturas na superfície diminui a evaporação de água do solo e o escoamento superficial, elevando a taxa de infiltração (Derpsch et al., 1986). O sistema de manejo convencional tem sido criticado por contribuir para o processo erosivo do solo, resultando em problemas de poluição ambiental.

Diferenças na densidade entre solos sob sistemas de manejo convencional e plantio direto têm sido relatadas como significantes, mas nem sempre são encontradas (Fernandes et al., 1983). Voorhees & Lindstrom (1984) informaram que são necessários três a quatro anos, sob condições de manejo conservacionista, para desenvolver porosidade mais favorável na camada de 0-15 cm, comparado a solos arados e discados continuamente.

O sistema de plantio direto produz condições na zona radicular, que podem parecer menos favoráveis para o crescimento de plantas, pois, em alguns trabalhos, é detectado o aumento no valor da densidade do solo, com menor volume de poros para o armazenamento de água disponível para as plantas. Contudo, esse sistema tem-se mostrado mais produtivo na cultura do milho, pois diminui as perdas de água por evaporação e perdas de solo transportado pela enxurrada, com o aumento da taxa de infiltração de água. Hill (1990) em trabalho com onze anos de duração, e três locais, encontrou que no sistema de manejo convencional, a densidade do solo, na camada de 6,7-17,2 cm, foi menor, comparada ao sistema de plantio direto.

Voorhees et al. (1989), em três solos, não encontraram diferenças consistentes de produtividade de grãos de milho, afetados pela compactação do subsolo e da superfície, indicando que, em algumas situações, a maior densidade do solo pode não ser prejudicial para a produtividade das culturas.

Solos manejados sob sistema de plantio direto adquirem condições físicas diferentes de outros sistemas, como o manejo convencional (Reinert et al., 1984), proporcionando redução na perda de água e solo devido à maior infiltração de água no perfil. Bruce et al. (1990), trabalhando com soja, sorgo e trigo em três sistemas de manejo do solo, encontraram que, no sistema de manejo convencional, a densidade do solo foi significativamente menor, comparada ao cultivo mínimo e ao plantio direto. O espaço de poros ocupados por ar foi maior no sistema de manejo convencional, comparado ao de plantio direto. Hammel (1989), trabalhando com rotação de culturas e diferentes manejos, em dois solos classificados como Palouse e Naff (siltosos), até os 50 cm analisados, encontrou menor valor de densidade do solo no sistema de manejo convencional, comparado ao de plantio direto.

Munawar et al. (1990), utilizando centeio seguido pela cultura de milho, observaram, em 1986, produção de milho de 4,41 t ha⁻¹ para o sistema de plantio direto e de 2,26 t ha⁻¹ para o de manejo convencional. Lal et al. (1980), em experimento com diferentes taxas de casca de arroz na superfície (0, 2, 4, 6 e 12 t ha⁻¹), observaram, após 18 meses de implantação, valores crescentes da porosidade total (48 a 59%), acompanhando o crescimento das doses de palha. Comportamento similar foi verificado para produção relativa de macroporos, que variou de 18 a 38% com o aumento das doses de palha, evidenciando o efeito dos resíduos sobre o solo.

Esse trabalho objetiva quantificar o impacto da rotação de culturas e sistemas de manejo do solo, sobre a forma da sua estrutura, medida pela densidade, macro-, microporosidade e condutividade hidráulica saturada.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no campo na FUNDACEP Fecotrigo, em Cruz Alta (RS), de 1985 a 1991/92, em um latossolo vermelho-escuro distrófico, textura argilosa, substrato basalto e relevo ondulado (Brasil, 1973). Os tratamentos foram os seguintes: (a) sistemas de manejo do solo: plantio direto e convencional. O manejo convencional consistiu em uma escarificação e uma gradagem antes das culturas de inverno e uma lavração e duas gradagens antes das culturas de verão; (b) sistemas de rotação de culturas: culturas de inverno e de verão em ciclos de três anos. A rotação 1 (R1) usou a sucessão trigo/soja anualmente. A rotação 2 (R2), no ano 1, usou aveia + ervilhaca/milho; no ano 2, trigo/soja e, no ano 3, aveia/soja. A rotação 3 (R3), nos anos 1 e 2, usou aveia/soja e, no ano 3, trigo/soja.

O experimento foi instalado em parcelas subdivididas, com sistemas de manejo nas parcelas e rotações nas subparcelas. Parcelas de 150 por 40 m foram usadas para a instalação de cada tratamento. A área experimental, homogênea, foi subdividida em três, para instalação das rotações, totalizando duas parcelas com três subparcelas cada uma. As repetições de campo foram realizadas dentro de cada subparcela (50 por 40 m), onde três pontos distintos foram analisados e, em cada ponto, realizadas três repetições de laboratório, totalizando nove repetições por subparcela. Em abril de 1992, ano 1 do terceiro ciclo do efeito da rotação de culturas, as amostras de solo foram extraídas em cilindro de Uhland, com 7,6 cm de diâmetro e 7,6 cm de altura, nas profundidades de 1,0-8,6 e 8,6-16,2 cm para determinação da densidade do solo, macro-, microporosidade e condutividade hidráulica saturada. As amostras de solo foram saturadas, medida a condutividade hidráulica saturada e levadas à mesa de tensão com sucção de 60 cm através de coluna de água. Após equilíbrio da umidade, o solo foi levado à estufa para secagem a 105°C. A condutividade hidráulica saturada foi medida pelo método descrito por Klute (1965) e a porosidade total, calculada pela seguinte fórmula:

$$PT = (1 - D_s/D_p) \times 100 \quad (1)$$

onde:

PT: porosidade total, em $\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$; D_s : densidade do solo, em g cm^{-3} ; D_p : densidade de partícula, $2,65 \text{ g cm}^{-3}$. A microporosidade foi considerada como o conteúdo volumétrico de água equilibrado na mesa de tensão a 60 cm de coluna de água e a macroporosidade, calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A análise estatística dos dados constou da análise da variância para o modelo fatorial, inteiramente casualizado, com três repetições de campo e parcela subdividida, utilizando-se o teste de Duncan a 5% para comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dois sistemas de manejo do solo, plantio direto e manejo convencional, não houve diferenças significativas de densidade do solo, macro- e microporosidade (Quadro 1). Isso pode ser atribuído ao não-controle de tráfego durante o período de realização do experimento, possibilitando a equalização das condições físicas ligadas às relações massa-volume do solo. O efeito dos sistemas de manejo do solo nos valores de densidade do solo e porosidade variou com a profundidade. Em ambos, a densidade foi superior na camada de 8,6-16,2 cm, possivelmente por essa camada não sofrer nenhum tipo de mobilização no sistema de plantio direto, e mobilização no manejo convencional.

Quadro 1. Densidade do solo e porosidade total, macro- e microporosidade para os sistemas de manejo convencional (MC) e plantio direto (PD), nas camadas de 1,0-8,6 e 8,6-16,2 cm

Atributo	1,0-8,6 cm		8,6-16,2 cm	
	MC	PD	MC	PD
Densidade do solo, g cm^{-3}	1,15a	1,18a	1,26a	1,25a
Porosidade total, $\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$	0,569a	0,555a	0,523a	0,528a
Macroporosidade, $\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$	0,210a	0,192a	0,150a	0,159a
Microporosidade, $\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$	0,359a	0,363a	0,373a	0,369a

(1) Letras iguais seguidas das médias entre sistemas de manejo não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Tem-se observado aumento da densidade do solo no sistema de plantio direto, nos primeiros anos de sua implantação na camada superficial, devido ao arranjo natural do solo quando este não é mobilizado, principalmente, em solos argilosos. No entanto, com o passar dos anos, sua densidade pode vir a diminuir, devido, em parte, ao aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial, que favorece melhor desenvolvimento da estrutura do solo (Fernandes et al., 1983). É comum encontrar, na literatura, que a densidade do solo no sistema de plantio direto é superior à do sistema de manejo convencional, sobretudo nos trabalhos que não utilizam o milho em rotação. Essa observação não foi verificada neste trabalho nem no de Eltz et al. (1989). A presença da cultura do milho, produzindo significativa soma de massa seca deixada na superfície, pode ser um dos fatores para observação de menor densidade no solo sob sistema de plantio direto, neste trabalho.

Os valores da macro- e da microporosidade entre os dois sistemas de manejo foram muito semelhantes nas duas profundidades. A macroporosidade na camada de 8,6-16,2 cm foi inferior à da de 1,0-8,6 cm. A porosidade total para os dois sistemas foi superior na camada de 1,0-8,6 cm, coerente com seus menores valores de densidade do solo. Isso está de acordo com a hipótese de que a degradação da estrutura do solo, tendo como consequência a redução da porosidade total, é mais evidenciada pela redução da macroporosidade.

Na camada de 1,0-8,6 cm, a condutividade hidráulica saturada foi superior, comparada com a da camada de 8,6-16,2 cm (Figura 1). A redução está associada ao aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade com a profundidade. Houve interação significativa dos valores de condutividade hidráulica saturada entre sistemas de manejo e rotação, demonstrando comportamentos diferentes dos esquemas de rotação de culturas para cada sistema de manejo do solo.

Deve-se salientar que o método utilizado para determinação da condutividade hidráulica não mede efeitos de selamento superficial dos poros por impacto das gotas de água, o qual tem forte influência na velocidade de infiltração de água no solo (Roth et al.,

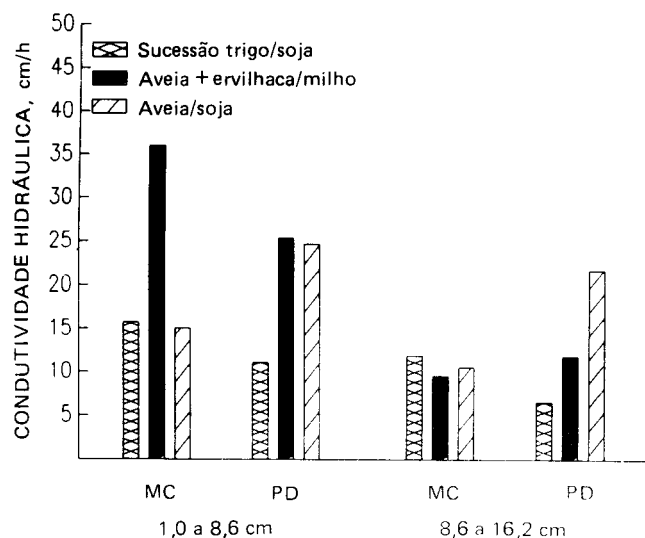


Figura 1. Condutividade hidráulica saturada em solo sob plantio direto (PD) e manejo convencional (MC), com rotação de culturas, nas camadas de 1,0-8,6 e 8,6-16,2 cm.

1986). Quando, em um solo sob sistema de manejo convencional, a infiltração de água for medida por chuva simulada ou natural, pode haver selamento superficial, o que não ocorre no sistema de plantio direto, pois este possui proteção na superfície através de resíduos culturais.

Houve diferenças significativas entre os sistemas de rotação de culturas para os parâmetros densidade do solo e porosidade total, somente na camada de 1,0-8,6 cm. Nas duas profundidades, os parâmetros macro- e microporosidade não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de rotação de culturas (Quadro 2). O maior valor de densidade do

solo e, conseqüentemente, o menor de porosidade total, foi observado no sistema de rotação 1, com sucessão trigo/soja anualmente, diferindo estatisticamente dos sistemas de rotação 2 e 3. Isso pode ser devido à intensa mobilização do solo, tráfego de máquinas e exposição do solo à ação do impacto da chuva. Outro efeito que deve ser considerado é a utilização de aveia nos sistemas de rotação 2 e 3. Conforme Reinert (1993), cada cultura tem efeito diferenciado sobre as propriedades físicas do solo, contribuindo para a conservação e restauração da sua estrutura.

Hill et al. (1985) encontraram que o conteúdo de água no solo para dado potencial matricial é maior no sistema de manejo conservacionista, quando comparado ao de manejo convencional, pois, naquele, ocorreu maior quantidade de poros com raio entre 0,1 e 10,0 μm , responsáveis pela retenção de água no solo.

Um sistema de manejo que possibilite maior conteúdo de água disponível para as culturas diminui o estresse da planta sob curto período de déficit hídrico. Vários autores observaram que a produtividade de milho em sistema de plantio direto é superior ao sistema de manejo convencional, provavelmente devido à conservação de água no perfil por período maior no sistema de plantio direto (Hill et al., 1985; Eltz et al., 1989), maior fertilidade da camada explorada pelas raízes (Muzilli, 1983) e menores perdas de solo (Mokma & Sietz, 1992; National Soil Erosion, 1981).

Não houve grandes diferenças em todas as variáveis analisadas para os dois sistemas de manejo do solo, porém a produtividade da cultura de milho em sistema de plantio direto foi 83% superior, comparada ao convencional (dados não apresentados). A cultura da soja não revelou diferença de produção para os dois sistemas de manejo.

CONCLUSÕES

1. A rotação de culturas induziu a diminuição dos valores de densidade do solo e aumento da porosidade total, quando comparada à sucessão trigo/soja, indicando efeito benéfico dessa prática agrícola sobre a estrutura do solo.

2. Não foram verificadas diferenças entre as variáveis analisadas entre os dois sistemas de manejo dos solos, o que permite afirmar que, nas condições do estudo, o plantio direto não causou aumento da densidade do solo.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30)
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. & DILLARD, A.L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 54:1744-1747, 1990.

Quadro 2. Densidade do solo, porosidade total macro- e microporosidade para os tratamentos com rotação de culturas nas camadas de 1,0-8,6 cm e 8,6-16,2 cm

Rotação	Densidade do solo	Porosidade total	Macropo- rosidade	Micropo- rosidade
	g cm^{-3}	$\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$		
Camada de 1,0-8,6 cm				
R1	1,21a ⁽¹⁾	0,542b	0,193a	0,349a
R2	1,14b	0,570a	0,200a	0,370a
R3	1,14b	0,569a	0,211a	0,358a
Camada de 8,6-16,2 cm				
R1	1,28a	0,517a	0,159a	0,358a
R2	1,25a	0,529a	0,150a	0,379a
R3	1,25a	0,530a	0,154a	0,376a

(1) Médias não seguidas pela mesma letra na vertical diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N & ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Til. Res.*, Amsterdam, 8:253-263, 1986.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 13(2):259-267, 1989.
- 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 dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 7:329-333, 1983.
- HAMMEL, J.E. Long-term conventional and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53:1515-1519, 1989.
- HILL, R.L. Long-term conventional tillage and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 54(1):161-166, 1990.
- HILL, R.L.; HORTON, R. & CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49:1264-1270, 1985.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivities of saturated soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part 1.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.210-221.
- LAL, R.; VLEESCHAUWER, D. & NGNJE, R.M. Changes in properties of a newly cleared tropical Alfisol as affected by mulching. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 44(5):827-833, 1980.
- MOKMA, D.L. & SIETZ, M.A. Effects of soil erosion on corn yield on Marlet Soils in south-central Michigan. *J. Soil Wat. Conserv.*, Ankeny, 47:325-327, 1992.
- MUNAWAR, A.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. & SAUL, M.R. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.*, Madison, 82:773-777, 1990.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 7(1):95-102, 1983.
- NATIONAL SOIL EROSION. Productivity Research Planning Committee. Soil erosion effects on productivity: a research perspective. *J. Soil Wat. Conserv.*, Ankeny, 36:82-90, 1981.
- REINERT, D.J. Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramínea em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 62p. (Tese de concurso a professor titular.)
- REINERT, D.J.; MUTTI, L.S.M.; ZAGO, A.; AZOLIN, M.A.D. & HOFFMANN, C.L. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Cent. Ci. Rur.*, Santa Maria, 14(1):19-25, 1984.
- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCH, R. The effect of different soybean tillage systems on infiltrability and erosion susceptibility of an Oxisol in Paraná, Brazil. *Soil Til. Res.*, Amsterdam, 11:81-91, 1986.
- VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agron J.*, Madison, 81:294-303, 1989.
- VOORHEES, W.B. & LINDSTROM, M.J. Long term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48:152-156, 1984.