

EFEITOS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS ENVOLVENDO PASTAGENS SOB PLANTIO DIRETO NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO

Silvio Tullio Spera, Henrique Pereira dos Santos,
Renato Serena Fontaneli e Gilberto Omar Tomm

Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens anuais de inverno e pastagens perenes, sob sistema plantio direto, após oito anos de cultivo, sobre as propriedades físicas do solo.

Método

Experimento foi conduzido em campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), situado no município de Passo Fundo, RS (longitude 28° 15' S, latitude 52° 24' W e altitude 684 m), durante o período de 1993 a 2000, em Latossolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999), de textura muito argilosa e de relevo suave ondulado. Os teores médios de argila, de silte e de areia na superfície são,

respectivamente: 720, 130 e 150 g/kg. As culturas precedentes na área do experimento foram soja, no verão, e cevada ou trigo, no inverno.

Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de produção integrando culturas produtoras de grãos [aveia branca (*Avena sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e trigo (*Triticum aestivum* L.)], pastagens anuais de inverno [aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), azevém (*Lolium multiflorum* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.)] e pastagens perenes [alfafa (*Medicago sativa* L.), cornichão (*Lotus corniculatus* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schred.), pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), trevo branco (*Trifolium repens* L.) e trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.)]. São os seguintes: sistema I (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; sistema II (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja); sistema III [pastagens perenes de estação fria (festuca + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; sistema IV [pastagens perenes de estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; e sistema V (alfafa para feno), acrescentado como tratamento adicional, com repetições, em área contígua ao experimento, em 1994 (Tabela 1). As áreas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I a partir do verão de 1996. Um fragmento remanescente de floresta subtropical com araucárias (F), adjacente ao experimento, também foi amostrado, com o mesmo número de repetições, e admitido como referencial do estado estrutural do solo antes de ser submetido às alterações antrópicas. Todas as espécies produtoras de grãos, tanto de inverno como de verão, bem

como as pastagens anuais de inverno, foram estabelecidas sob plantio direto. As pastagens perenes de estação fria e de estação quente foram estabelecidas associadas ao plantio direto de trigo, em 1993. As pastagens anuais de inverno e perenes foram pastejadas por bovinos mestiços de raças européias, duas e cinco vezes por ano, respectivamente.

Em abril de 1993, antes da semeadura das culturas de inverno, a camada de solo 0-20 cm de profundidade foi amostrada, e os resultados das análises foram: pH = 6,0; Al trocável = 0,5 mmol_c/dm³; Ca + Mg trocáveis = 102,8 mmol_c/dm³; matéria orgânica = 23,0 g/kg; P extraível = 5,3 mg/kg; e K trocável = 60 mg/kg. Três anos antes da instalação do experimento, foi efetuada calagem com calcário dolomítico, com base no método SMP (pH 6,0). As parcelas semeadas com alfafa foram corrigidas novamente, em 1994, com 6,0 t/ha de calcário (PRNT 100%), para elevar o pH para 6,5, aplicadas em duas vezes: metade antes da aração (arado de discos) e metade antecedendo a gradagem (grade de discos).

A adubação de manutenção para as culturas foi baseada na média dos valores observados nas análises químicas da área experimental. As amostras de solo foram coletadas cada três anos, após colheita das culturas de verão.

Em maio de 2000, foram coletadas amostras indeformadas de solo (duas por parcela) nas profundidades 0-5 e 10-15 cm, destinadas às análises físicas de solo. Na análise de densidade de solo, foi usado método do anel volumétrico. A porosidade total foi obtida pela razão entre densidade real e densidade do solo. A microporosidade foi considerada como conteúdo volumétrico

de água, equilibrada na mesa de tensão a 60 cm de coluna de água, e a macroporosidade foi calculada por diferença entre porosidade total e microporosidade, conforme Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997).

O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo de 400 m² a área de cada parcela. Os diversos sistemas de produção, integrando pastagens anuais e pastagens perenes com culturas produtoras de grãos, foram comparados para cada atributo físico de solo estudado e para cada profundidade de amostragem. Todas as comparações foram realizadas por meio de contrastes com um grau de liberdade (Steel & Torrie, 1980). A significância dos contrastes foi dada pelo teste F, levando-se em conta o desdobramento dos graus de liberdade do erro.

Resultados

Os dados de densidade de solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade são referentes à amostragem realizada em maio de 2000 e representam o efeito cumulativo dos sistemas no período de 1993 a 2000 (oito anos), com exceção do sistema V, o qual foi estabelecido em 1994. Os sistemas de produção de grãos apresentaram diferenças na densidade de solo (Tabela 2), para ambas as camadas estudadas (0-5 e 10-15 cm). Os sistemas I (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja - 1,35 e 1,50 Mg/m³) e II (trigo/soja, pastagem de aveia

preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja - 1,38 e 1,52 Mg/m³) apresentaram maiores valores para densidade de solo, em comparação ao sistema V (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja - 1,22 e 1,38 Mg/m³). O sistema II mostrou maior valor para densidade de solo, em relação aos sistemas III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja - 1,29 Mg/m³) e IV (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja - 1,30 Mg/m³), na camada 0-5 cm de profundidade. Os sistemas III (1,47 Mg/m³) e IV (1,49 Mg/m³) apresentaram maior valor para densidade de solo, em comparação ao sistema V (1,38 Mg/m³), apenas na camada 10-15 cm de profundidade. Provavelmente, a mobilização de solo da camada superficial, realizada por ocasião da calagem, no sistema V, deve ter reduzido a densidade de solo. Por sua vez, a floresta subtropical, que ainda preserva a condição estrutural original do solo, apresentou menor densidade (1,05 e 1,17 Mg/m³), em relação a todos os sistemas estudados, nas camadas 0-5 e 10-15 cm de profundidade. A menor densidade de solo, no sistema V, pode ser atribuída ao revolvimento de solo, efetuado em setembro de 1999, que se fez necessário na área, em razão de infestação de plantas daninhas de folha larga (*Rumex obtusifolius*).

É necessário ressaltar que o sistema I foi destinado exclusivamente à produção de grãos, desde 1993, não mostrando diferenças entre médias para densidade do solo, quando comparado com os sistemas, III e IV, os quais foram transformados de pastagens em lavouras de produção de grãos a partir do verão de 1996, e que o sistema II, com pastagens anuais de inverno, vinha sendo pastejado uma ou duas vezes durante cada inver-

no, desde 1993. O sistema V, que se originou após cultivo de alfafa para corte (manual), situou-se em posição intermediária, para os valores de densidade de solo, entre os sistemas I, II, III e IV e floresta subtropical.

Os valores de matéria orgânica não apresentaram correlação significativa com a densidade de solo (dados não apresentados).

Houve diferenças na densidade de solo entre as profundidades de amostragem em todos os sistemas de produção estudados, exceto para floresta subtropical (Tabela 2). A densidade de solo foi menor na camada 0-5 cm, em relação à camada 10-15 cm de profundidade, indicando compactação de solo nessa profundidade (Tabela 2). Esse processo pode ser atribuído ao tráfego de máquinas e ao pisoteio de animais. Neste estudo, a maior densidade de solo verificada na camada 10-15 cm de profundidade pode ser atribuída à presença residual de camada compactada resultante de operações anteriores de preparo de solo com aração e gradagem.

Em todos os sistemas de produção avaliados, nas camadas 0-5 e 10-15 cm, houve diferenças quanto à porosidade total do solo (Tabela 3). O sistema V (0,536 e 0,478 m³/m³) e a floresta subtropical (0,594 e 0,548 m³/m³) apresentaram porosidade total maior que a dos sistemas I (0,492 e 0,434 m³/m³), II (0,476 e 0,423 m³/m³) e III (0,510 e 0,447 m³/m³). O sistema III foi, ainda, superior ao sistema II, para porosidade total, somente na camada 0-5 cm de profundidade. Por sua vez, a floresta subtropical mostrou maior porosidade total, em relação aos sistemas IV (0,507-0,434 m³/m³) e V (0,536-0,478 m³/m³), respectivamente, em ambas as camadas. O sistema V

foi superior ao sistema IV, para porosidade total, na camada 10-15 cm. No caso do sistema V, pode ser reflexo do revolvimento de solo que se fez necessário em setembro de 1999, ou seja, menor valor de densidade de solo e maior porosidade total, por mobilizar o solo até 15-20 cm de profundidade. Na condição de vegetação natural (floresta) e sob plantio direto (sistemas I, II, III e IV), quando o solo permaneceu coberto por material vegetal todo o período, seria esperado que houvesse intensa atividade biológica, resultando em produtos que desempenham função de formação e de estabilização de agregados.

Para porosidade total, houve diferença nas duas profundidades de amostragem em todos os sistemas de produção estudados, com exceção da floresta subtropical (Tabela 3). A porosidade total diminuiu da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm de profundidade, indicando degradação de estrutura do solo. Isso ficou mais evidente com a redução da macroporosidade.

Entre os sistemas de produção estudados, houve diferenças entre as médias para microporosidade (Tabela 4). O sistema V ($0,388$ e $0,417 \text{ m}^3/\text{m}^3$) apresentou valor para microporosidade maior que o dos sistemas I ($0,363$ e $0,367 \text{ m}^3/\text{m}^3$), II ($0,361$ e $0,370 \text{ m}^3/\text{m}^3$) e IV ($0,355$ e $0,367 \text{ m}^3/\text{m}^3$), nas camadas 0-5 e 10-15 cm de profundidade. A floresta subtropical mostrou maior microporosidade ($0,420 \text{ m}^3/\text{m}^3$), em relação aos sistemas I ($0,363 \text{ m}^3/\text{m}^3$), II ($0,361 \text{ m}^3/\text{m}^3$), III ($0,368 \text{ m}^3/\text{m}^3$), IV ($0,355 \text{ m}^3/\text{m}^3$) e V ($0,388 \text{ m}^3/\text{m}^3$), somente na camada 0-5 cm de profundidade. A maior microporosidade, no sistema V, pode ser resultado das alterações estruturais promovidas pelo revol-

vimento de solo, em 1999, combinadas com dose elevada de calcário, que pode ter dispersado agregados (Jucksch, 1987).

Houve diferenças entre profundidades de solo para microporosidade somente em um dos sistemas de produção estudados. No sistema V, a microporosidade incrementou da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm de profundidade.

Houve diferenças entre médias dos sistemas de produção estudados, para macroporosidade (Tabela 5). A floresta subtropical apresentou maior macroporosidade ($0,149 \text{ m}^3/\text{m}^3$), em comparação aos sistemas I ($0,064 \text{ m}^3/\text{m}^3$), II ($0,053 \text{ m}^3/\text{m}^3$), III ($0,063 \text{ m}^3/\text{m}^3$), IV ($0,070 \text{ m}^3/\text{m}^3$) e V ($0,061 \text{ m}^3/\text{m}^3$), na camada 10-15 cm de profundidade. Na camada 0-5 cm, a floresta subtropical ($0,174 \text{ m}^3/\text{m}^3$) foi superior ao sistema II ($0,114 \text{ m}^3/\text{m}^3$), para macroporosidade. O sistema IV ($0,153 \text{ m}^3/\text{m}^3$) foi superior ao sistema II ($0,114 \text{ m}^3/\text{m}^3$), para macroporosidade. Isso indica que a macroporosidade está sujeita a mudanças impostas pelo manejo de solo (o solo foi revolvido, no sistema V, em 1999). Foram observadas diferenças de macroporosidade entre profundidades de amostragem de solo em todos os sistemas de produção, exceto na floresta subtropical. A macroporosidade diminuiu da camada 0-5 cm ($0,114 - 0,153 \text{ m}^3/\text{m}^3$) para a camada 10-15 cm de profundidade ($0,053 - 0,070 \text{ m}^3/\text{m}^3$). A densidade de solo e a microporosidade aumentaram da camada superficial para a camada mais profunda, enquanto para porosidade total e macroporosidade ocorreu o inverso. Os maiores valores para densidade do solo e microporosidade e os menores valores para porosidade total e macroporosidade, em sistemas de produção agropecuária, em comparação à floresta subtropi-

cal, evidenciam que solos submetidos a cultivo ou pastejo sofrem alterações nas propriedades físicas. Isso pode ser atribuído a combinações de diferentes fatores antrópicos: mecanização freqüente, lotação animal inadequada e insumos com propriedades químicas dispersantes de agregados do solo responsáveis pela estruturação.

Referências Bibliográficas

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 312p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. SPI, Brasília, 1997. 212p. (Embrapa Solos. Documentos, 1)

JUCKSCH, I. *Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro*. Viçosa, UFV, 1987. 37p. (Dissertação de Mestrado)

STEEL, G. D.; TORRIE, J. H. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

Tabela 1. Sistemas de produção de grãos e de pastagens anuais de inverno, perenes de estação fria e perenes de estação quente, sob plantio direto. Passo Fundo, RS.

Sistema de produção	Ano									
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
Sistema I (produção de grãos)	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	E/M
	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	Ab/S
	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	Ab/S	T/S
Sistema II (produção de grãos + pastagem anual de inverno)	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	Ap+E/M
	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ab/S
	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S	T/S	Ap+E/M	Ab/S
Sistema III (produção de grãos + pastagem perene de inverno)	T/PPF	PPF	PPF	PPF/S	E/M	Ab/S	T/S	Ab/S	E/M	E/M
	T/PPF	PPF	PPF	PPF/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	E/M	Ab/S
	T/PPF	PPF	PPF	PPF/S	T/S	E/M	Ab/S	Ab/S	T/S	T/S
Sistema IV (produção de grãos + pastagem perene de verão)	T/PPQ	PPQ	PPQ	PPQ/S	E/M	Ab/S	T/S	Ab/S	E/M	E/M
	T/PPQ	PPQ	PPQ	PPQ/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	E/M	Ab/S
	T/PPQ	PPQ	PPQ	PPQ/S	T/S	E/M	Ab/S	Ab/S	T/S	T/S
Sistema V (produção de grãos + alfafa)	-	Al	Al	Al/S	E/M	Ab/S	T/S	Ab/S	E/M	E/M
	-	Al	Al	Al/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	E/M	Ab/S
	-	Al	Al	Al/S	T/S	E/M	Ab/S	Ab/S	E/M	T/S

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Al: alfafa; E: ervilhaca; M: milho; PPF: pastagem de estação fria (festa + cornichão + trevo branco); PPQ: pastagem estação quente (pensacola + cornichão + trevo vermelho); S: soja; e T: trigo.

Tabela 2. Valores de densidade do solo nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, determinados após as culturas de verão, em cinco sistemas de produção e em floresta subtropical. Passo Fundo, RS, 2000.

Sistema de produção	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Densidade do solo (Mg/m ³)		Contraste entre profundidade (P>F)
Sistema I	1,35	1,50	**
Sistema II	1,38	1,52	**
Sistema III	1,29	1,47	**
Sistema IV	1,30	1,49	**
Sistema V	1,22	1,38	**
Floresta (F)	1,05	1,17	ns
	Contraste entre sistema		
I x II	ns	ns	-
I x III	ns	ns	-
I x IV	ns	ns	-
I x V	**	**	-
I x F	**	**	-
II x III	*	ns	-
II x IV	*	ns	-
II x V	**	**	-
II x F	**	**	-
III x IV	ns	ns	-
III x V	ns	**	-
III x F	**	**	-
IV x V	ns	**	-
IV x F	**	**	-
V x F	**	**	-

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. I: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; II: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação fria; IV: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação quente; V: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após alfafa; e F: floresta subtropical com araucárias.

Tabela 3. Valores de porosidade total nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, determinados após as culturas de verão, em cinco sistemas de produção e em floresta subtropical. Passo Fundo, RS, 2000.

Sistema de produção	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Porosidade total (m ³ /m ³)		Contraste entre profundidade (P>F)
Sistema I	0,492	0,434	**
Sistema II	0,476	0,423	**
Sistema III	0,510	0,447	**
Sistema IV	0,507	0,434	**
Sistema V	0,536	0,478	**
Floresta (F)	0,594	0,548	Ns
	Contraste entre sistema		
I x II	ns	ns	-
I x III	ns	ns	-
I x IV	ns	ns	-
I x V	**	**	-
I x F	**	**	-
II x III	*	ns	-
II x IV	ns	ns	-
II x V	**	**	-
II x F	**	**	-
III x IV	ns	ns	-
III x V	*	*	-
III x F	**	**	-
IV x V	ns	**	-
IV x F	**	**	-
V x F	*	**	-

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. I: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; II: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação fria; IV: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação quente; V: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após alfafa; e F: floresta subtropical com araucárias.

Tabela 4. Valores de microporosidade nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, determinados após as culturas de verão, em cinco sistemas de produção e em floresta subtropical. Passo Fundo, RS, 2000.

Sistema de produção	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Microporosidade (m ³ /m ³)		Contraste entre profundidade (P>F)
Sistema I	0,363	0,367	ns
Sistema II	0,361	0,370	ns
Sistema III	0,368	0,384	ns
Sistema IV	0,355	0,367	ns
Sistema V	0,388	0,417	**
Floresta (F)	0,420	0,399	ns
	Contraste entre sistema		
I x II	ns	ns	-
I x III	ns	ns	-
I x IV	ns	ns	-
I x V	*	**	-
I x F	*	ns	-
II x III	ns	ns	-
II x IV	ns	ns	-
II x V	*	**	-
II x F	**	ns	-
III x IV	ns	ns	-
III x V	ns	ns	-
III x F	**	ns	-
IV x V	**	**	-
IV x F	**	ns	-
V x F	*	ns	-

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. I: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; II: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação fria; IV: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação quente; V: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após alfafa; e F: floresta subtropical com araucárias.

Tabela 5. Valores de macroporosidade nas camadas de solo 0-5 e 10-15 cm de profundidade, determinados após as culturas de verão, em cinco sistemas de produção e em floresta subtropical. Passo Fundo, RS, 2000.

Sistema de produção	Profundidade (cm)		
	0-5	10-15	0-5 x 10-15
	Macroporosidade (m ³ /m ³)		Contraste entre profundidade (P>F)
Sistema I	0,130	0,064	**
Sistema II	0,114	0,053	**
Sistema III	0,144	0,063	**
Sistema IV	0,153	0,070	**
Sistema V	0,149	0,061	**
Floresta (F)	0,174	0,149	ns
	Contraste entre sistema		
I x II	ns	ns	-
I x III	ns	ns	-
I x IV	ns	ns	-
I x V	ns	ns	-
I x F	ns	**	-
II x III	ns	ns	-
II x IV	*	ns	-
II x V	ns	ns	-
II x F	*	**	-
III x IV	ns	ns	-
III x V	ns	ns	-
III x F	ns	**	-
IV x V	ns	ns	-
IV x F	ns	**	-
V x F	ns	**	-

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. I: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; II: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja; III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação fria; IV: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após pastagem perene de estação quente; V: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja após alfafa; e F: floresta subtropical com araucárias.