

Sistemas de produção com integração lavoura pecuária: características físicas do solo sob sistema plantio direto

Henrique Pereira dos Santos¹
Renato Serena Fontaneli¹
Anderson Santi¹
Ana Maria Vargas²
Amauri Colet Verdi²

Introdução

A compactação do solo é considerada uma das maiores limitações para o elevado rendimento de grãos ou de matéria seca das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento do sistema radicular, diminui a capacidade de infiltração de água no solo, reduz a disponibilidade de nutrientes na solução do solo, resultando em uma pequena camada a ser explorada pelas raízes (SECCO et al., 2009, CUNHA et al., 2009). Devido a grande dependência de outros fatores, principalmente da umidade do solo, no período do desenvolvimento radicular, o efeito da compactação no rendimento de grãos é difícil de ser avaliado.

Objetivo

Avaliar características físicas do solo em sistemas de produção com integração lavoura pecuária sob sistema plantio direto, após aplicação de calcário na camada superficial.

Método

O experimento está sendo conduzido no campo experimental da Embrapa Trigo, no município de Coxilha, RS, desde 1995, em Latossolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS et al., 2013). Os dados que serviram de base para o presente trabalho consistiram das coletas realizadas nos anos de 2008, 2010 e 2012. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura pecuária (SPILP): Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho; III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja; IV: trigo/soja e ervilha/milho; V: trigo/soja, triticales duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Em maio de 2008 e de 2009, foram aplicadas 2,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, com base no método SMP (pH 6,0), em todas as parcelas. A adubação de manutenção durante o período de condução do experimento foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura (MANUAL..., 2004) e baseada nos resultados de análise de solo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A área das parcelas foi de 200 m².

Em abril de 2008, de 2010 e de 2012, duas amostras indeformadas de solo foram coletadas por parcela, com anéis, nas camadas de 0-2 cm e de 10-15 cm, destinadas às análises físicas de solo. O solo da floresta subtropical, próxima ao experimento, também foi amostrado nas mesmas profundidades, em quatro repetições. Para determinar a densidade do solo e a porosidade total, foi usado o método do anel volumétrico. 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 a porosidade total e a microporosidade, conforme descrito no Manual de Métodos de Análises de Solo da Embrapa (CLAESSEN, 1997).

Nas parcelas, entre 10 a 15 bovinos foram colocados em pastejo durante o dia e em solo relativamente seco, consumindo a forragem ofertada em um ou dois dias. Nos dois primeiros anos avaliados, o pastejo foi efetuado

¹ Pesquisador da Embrapa Trigo, Cx.P. 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: henrique.santos@embrapa.br; renato.fontaneli@embrapa.br; anderson.santi@embrapa.br.

² Acadêmico de Agronomia da UPF, Passo Fundo, RS. E-mail: anavargasra@yahoo.com.br; 119553@upf.br

apenas uma ou duas vezes, no inverno, com duração de, no máximo, dois dias em cada pastejo, com carga de dez a quinze animais. Além disso, após a retirada dos animais da área, manteve-se intervalo de 40-60 dias, de modo a permitir o rebrote das forrageiras de inverno antes do estabelecimento das culturas de verão.

Os SPILP foram comparados, para cada atributo físico de solo, nas mesmas camadas amostradas (SAS, 2008). As camadas do solo foram comparadas no mesmo SPILP. As médias dos SPILP foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Resultados

Densidade do solo - Os resultados serão discutidos a partir da avaliação de 2010. A maioria dos sistemas de produção com SPILP, em 2010 e em 2012, mostrou maior valor de densidade do solo, em relação a 2008, principalmente na camada de 10-15 cm, após quatro anos de cultivo (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de densidade de solo e porosidade total, nas camadas 0-2 cm e 10-15 cm de profundidade, determinado após as culturas de inverno, em quatro sistemas de produção integração lavoura-pecuária, em 2008, 2010 e 2012.

Sist de produção	2008		2010		2012	
	Profundidade cm					
	0-2	10-15	0-2	10-15	0-2	10-15
Densidade do solo (Mg m⁻³)						
Sist I	1,13 aB	1,32 aA	1,21 aB	1,36 aA	1,18 abB	1,36 abA
Sist II	1,07 aB	1,32 aA	1,24 aB	1,35 aA	1,14 abB	1,38 aA
Sist III	1,10 bB	1,34 aA	1,25 aB	1,35 aA	1,04 cB	1,37 aA
Sist IV	1,11 aB	1,32 aA	1,23 aB	1,35 aA	1,10 bcB	1,33 bA
Sist V	1,12 aB	1,32 aA	1,23 aB	1,34 aA	1,10 bcB	1,38 aA
Sist VI	1,10 aB	1,32 aA	1,25 aB	1,33 aA	1,22 aB	1,36 abA
Floresta	0,92 aB	1,14 bA	1,03 bA	1,11 bA	0,93 dA	1,08 cA
Porosidade total (m³ m⁻³)						
Sist I	0,534 aA	0,449 bB	0,515bA	0,472cB	0,538cdA	0,449bcB
Sist II	0,534 aA	0,454 bB	0,508bA	0,482bcB	0,536cdA	0,440cB
Sist III	0,541 aA	0,448 bB	0,515bA	0,473cB	0,540cA	0,445bcB
Sist IV	0,528 aA	0,451 bB	0,508bA	0,472cB	0,548bcA	0,447bcB
Sist V	0,528 aA	0,455 bB	0,513bA	0,475bcB	0,562abA	0,450bcB
Sist VI	0,532 aA	0,446 bB	0,512bA	0,487bB	0,520dA	0,457bB
Floresta	0,588 aA	0,500 aA	0,550aA	0,555aA	0,569aA	0,528aA

Sist: Sistema. Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja; sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho; sistema V: trigo/soja, triticale de duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo de duplo propósito/soja; e floresta: floresta subtropical. Em cada ano, as médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, entre SPILP e a mesma letra maiúscula, na horizontal entre as profundidades, para cada SPILP, não apresentam diferenças significativas, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em 2010, nas camadas de 0-2 e 10-15 cm, não houve diferença entre os SPILP. Em 2012, o sistema VI foi superior aos sistemas III, IV e V para o valor de densidade do solo, na camada 0-2 cm, enquanto que, na camada de 10-15 cm, os sistemas II, III e V mostraram maior valor de densidade do solo, em relação ao sistema IV. Porém, em ambos os anos estudados e nessas camadas, o solo da floresta subtropical (FST) mostrou valor menor de densidade do solo em relação aos SPILP. Os valores de densidade do FST foram menores que os dos SPILP, pois os sistemas de produção foram submetidos à exploração agropecuária por muitos anos, o que pode ser uma das prováveis causas do aumento da densidade do solo.

Em 2010 e em 2012, foi verificada diferença para o valor de densidade do solo entre as camadas amostradas. A densidade do solo foi maior na camada de 10-15 cm, em relação à camada de 0-2 cm, em todos os SPILP. Isso indica a presença de camada compactada a partir dos 10 cm de profundidade em todos os SPILP. Esse processo tem sido atribuído ao tráfego de máquinas e ao pisoteio por animais. Neste estudo, a maior densidade do solo na

camada de 10-15 cm pode ser atribuída à presença de camada compactada residual resultante de operações anteriores de preparo de solo com aração e gradagem, com pouca associação com o pisoteio promovido pelos bovinos, nas parcelas sob cultivo de forrageiras.

Como a densidade de solo tem sido um atributo físico usado na avaliação do estado estrutural do solo, os valores encontrados permitem inferir a ocorrência de compactação do solo nos sistemas de manejo estudados. Ressalta-se, entretanto, que, nas camadas avaliadas, a densidade do solo foi inferior ao valor considerado como limitante para os latossolos argilosos de Passo Fundo que, de acordo com Klein e Câmara (2007), é próximo de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$.

Porosidade total - Em 2010, todos os SPILP, na camada de 0-2 cm, mostraram menores valores de porosidade total do que na avaliação feita em 2008 (Tabela 1). Porém, na camada de 10-15 cm, ocorreu o inverso. Em 2012, os valores de porosidade total foram, na maioria dos SPILP, maiores do que os de 2008, nas duas camadas estudadas. Em 2010, não houve diferença na porosidade total entre os SPILP, na camada de 0-2 cm. O sistema VI apresentou valor mais elevado de porosidade total em comparação aos sistemas I, III e IV na camada de 10-15 cm. Em 2012, o sistema V foi superior aos sistemas I, II, III e VI para os valores de porosidade total, na camada de 0-2 cm, enquanto que, na camada de 10-15 cm, o sistema VI mostrou maior valor de porosidade total em comparação ao sistema II. Nos anos de 2010 e de 2012, o solo da FST, em ambas as camadas, apresentou valores maiores de porosidade total, em relação aos SPILP. Comparando-se com os valores de porosidade total na condição original, encontrados na FST, constata-se que após várias décadas de intervenções antrópicas, houve redução na macroporosidade dos solos cultivados, independentemente do tipo de SPILP. As diferenças na porosidade total podem ser atribuídas ao efeito da presença de diferentes tipos de sistemas radiculares das espécies forrageiras componentes dos sistemas. A intensidade variável do trânsito de máquinas, conforme o tipo de sistema de produção, também pode ter afetado a porosidade total.

Em 2010 e em 2012, a porosidade total foi maior na camada de 0-2 cm do que na camada de 10-15 cm, exceto na FST. Nos SPILP do presente estudo, supõe-se que tenha havido combinação do efeito do acúmulo de resíduos culturais e da ação agregante do sistema radicular de culturas na re-estruturação do solo, recompondo a porosidade do solo. No caso da FST, o acúmulo constante de serrapilheira na camada superficial determina, além da menor densidade do solo, maior porosidade total, em comparação à camada de 10-15 cm. Nos sistemas agrícolas, a maior porosidade total da camada superficial, em relação à camada mais profunda, indica nesta última camada, processo de degradação da estrutura do solo, caracterizados como “pé-de-arado” (ou “pé-de-grade”).

Microporosidade - Em 2010 e em 2012, a maioria dos SPILP mostraram maiores valores de microporosidade na camada 0-2 cm em relação ao observado em 2008 (Tabela 2). Em 2010, o sistema VI e a FST mostraram maior valores de microporosidade do que o sistema IV, na camada de 0-2 cm. Porém, na camada de 10-15 cm, a FST mostrou maior valor de microporosidade, em comparação aos sistemas I, II, III, IV e V. Em 2012 a FST foi superior para os valores de microporosidade, em relação aos sistemas I, II, III, IV e VI, na camada 0-2 cm, enquanto que, na camada 10-15 cm, os sistemas V, VI e a FST mostraram valores mais elevados de microporosidade do que os sistemas II, III e IV. Em 2010, na maioria dos SPILP estudados, a microporosidade foi maior na camada de 0-2 cm do que na camada de 10-15 cm. Em 2012, não houve diferença entre os SPILP para os valores de microporosidade nas camadas amostradas.

Macroporosidade - Na camada superficial, os valores de macroporosidade, em 2010, em todos os SPILP, foram menores do que o observado em 2008 (Tabela 2), enquanto que, na camada mais profunda, constatou-se o inverso. Em 2012, os valores de macroporosidade foram menores para a maioria dos SPILP, na camada de 0-2 cm, em relação aos de 2008, enquanto que, na camada de 10-15 cm, todos os SPILP foram menores para os valores de macroporosidade. Em 2010, não houve diferença na macroporosidade entre os SPILP, em ambas as camadas estudadas. Porém, o solo da FST, nas diferentes camadas estudadas, mostrou maiores valores de macroporosidade, em relação aos SPILP. Em 2012, os sistemas III, IV e V foram superiores aos sistemas I e VI para os valores de macroporosidade, na camada 0-2 cm, enquanto que, na camada de 10-15 cm, a FST mostrou maior valor de macroporosidade, em comparação aos SPILP. Em 2010, não houve diferença dos valores de

macroporosidade entre os SPILP, nas camadas amostradas. Em 2012, todos os SPILP estudados mostraram maior macroporosidade na camada de 0-2 cm do que na camada de 10-15 cm.

Tabela 2. Valores de microporosidade e macroporosidade, nas camadas 0-2 cm e 10-15 cm de profundidade, determinado após as culturas de inverno, em quatro sistemas de produção integração lavoura-pecuária, em 2008, 2010 e 2012.

Sist de produção	2008		2010		2012	
	Profundidade cm					
	0-2	10-15	0-2	10-15	0-2	10-15
Microporosidade (m³ m⁻³)						
Sist I	0,380 aA	0,376 aA	0,418abA	0,389cB	0,400bA	0,398abA
Sist II	0,374 aA	0,386 aA	0,417abA	0,395bcB	0,388bcdA	0,393bA
Sist III	0,374 aA	0,380 aA	0,413abA	0,394bcB	0,372dA	0,390bA
Sist IV	0,378 aA	0,376 aA	0,406bA	0,393bcA	0,379cdA	0,393bA
Sist V	0,379 aA	0,387 aA	0,419abA	0,400bcB	0,402abA	0,408aA
Sist VI	0,378 aA	0,383 aA	0,422aA	0,403abB	0,398bcA	0,410aA
Floresta	0,423 aA	0,400 aA	0,420aA	0,412aA	0,420aA	0,406aA
Macroporosidade (m³ m⁻³)						
Sist I	0,159 aA	0,071 bB	0,098bA	0,083bcA	0,137bcA	0,050bcB
Sist II	0,158 aA	0,068 bB	0,091bA	0,088bA	0,148abcA	0,048bcB
Sist III	0,168 aA	0,066 bB	0,101bA	0,081bcA	0,167aA	0,055bB
Sist IV	0,150 aA	0,074 bB	0,102bA	0,080bcA	0,169aA	0,054bB
Sist V	0,150 aA	0,070 bB	0,094bA	0,074cB	0,160abA	0,041cB
Sist VI	0,153 aA	0,070 bA	0,091bA	0,083bcA	0,122cA	0,047bcB
Floresta	0,165 aA	0,100 aA	0,132aA	0,141aA	0,148abcA	0,121aA

Sist: Sistema. Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja; sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho; sistema V: trigo/soja, triticale de duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo de duplo propósito/soja; e floresta: floresta subtropical. Em cada ano, as médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, entre SPILP e a mesma letra maiúscula, na horizontal entre as profundidades, para cada SPILP, não apresentam diferenças significativas, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Observamos, neste trabalho, que o comportamento da microporosidade foi similar ao da porosidade total. Assim, na maioria dos SPILP, os maiores volumes de microporos foram observados nas camadas superficiais, o que pode ser reflexo da influência da matéria orgânica na estruturação de solos. A densidade do solo foi sempre menor na camada superficial e, em consequência, a porosidade total e macroporosidade foram maiores, já que esses atributos são inversamente proporcionais e dependentes entre si.

A integração entre lavoura e pecuária, se inadequadamente manejada, pode favorecer a intensificação do processo de degradação física do solo, comumente observada em sistema plantio direto, e principalmente, a compactação do solo.

Conclusões

A densidade de solo foi maior na camada de 10-15 cm do que na camada de 0-2 cm, em todos os sistemas de produção integração lavoura pecuária, indicando que o pisoteio animal não intensifica a compactação da camada superficial.

Houve redução dos macroporos e aumento da densidade na camada de 10-15 cm em relação à camada de 0-2 cm, na maioria dos sistemas de produção integração lavoura pecuária, indicando ser resultado do efeito residual das operações anteriores de aração e de gradagem do solo.

Referências

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).

CUNHA, J. P. A. R.;CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejo de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-376, 2009.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

SAS Institute. **SAS system for microsoft windows version 9.2**. Cary, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho, em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.