



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

Cherubin, Maurício Roberto; Tonini Eitelwein, Mateus; Fabbris, Cristiano; Wolnei Weirich, Sidinei; Ferreira da Silva, Rodrigo; Rodrigues da Silva, Vanderlei; Basso, Claudir José  
QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLÓGICA DE UM LATOSSOLO COM DIFERENTES  
MANEJOS E FERTILIZANTES

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 39, núm. 2, 2015, pp. 615-625  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180239737029>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLÓGICA DE UM LATOSSOLO COM DIFERENTES MANEJOS E FERTILIZANTES

Maurício Roberto Cherubin<sup>(1)\*</sup>, Mateus Tonini Eitelwein<sup>(2)</sup>, Cristiano Fabbris<sup>(3)</sup>, Sidinei Wolnei Weirich<sup>(4)</sup>, Rodrigo Ferreira da Silva<sup>(5)</sup>, Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>(5)</sup> e Claudir José Basso<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

<sup>(2)</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

<sup>(3)</sup> COAMO - Agroindustrial Cooperativa, Ipuacu, Santa Catarina, Brasil.

<sup>(4)</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Saudades, Santa Catarina, Brasil

<sup>(5)</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

\* Autor correspondente.

E-mail: cherubin@usp.br

## RESUMO

Avaliar a qualidade do solo (QS) é uma importante estratégia para definir práticas e sistemas de manejo capazes de manter ou melhorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Nesse sentido, este trabalho objetivou avaliar as alterações na QS por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos em um Latossolo Vermelho cultivado com diferentes sistemas de manejo e diferentes fertilizantes. O estudo foi conduzido em Taquaruçu do Sul, RS, utilizando como base um experimento implantado em 2009, distribuído em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram: sistemas de manejos do solo (plantio direto, escarificação e cultivo mínimo) associados a diferentes fertilizações - sem fertilização, 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS) e fertilização mineral. Utilizou-se como referência o solo de uma área de mata nativa, adjacente ao experimento. Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas (0-10 e 10-20 cm) para avaliar os indicadores químicos, físicos e microbiológicos e instaladas armadilhas (tipo Provid) para estimar os indicadores biológicos do solo. Os indicadores físicos, tais como densidade, resistência à penetração, macroporosidade e porosidade total demonstraram sensibilidade às alterações causadas no solo pelo uso agrícola em relação à mata nativa. No entanto, os físico-mecânicos não são recomendados em avaliações da QS. A matéria orgânica é o indicador mais responsivo à degradação da QS, entretanto, os efeitos do manejo do solo não se manifestam em três anos

Recebido para publicação em 28 de julho de 2014 e aprovado em 13 de novembro de 2014.

DOI: 10.1590/01000683rbcs20140462

**de estudo. A fertilização com DLS sob plantio direto favorece a diversidade da macrofauna e a atividade microbiológica do solo, constituindo-se uma importante estratégia de manejo no sul do Brasil.**

**Palavras-chave:** indicadores de qualidade solo, sistema plantio direto, dejetos líquido de suíno.

**ABSTRACT: PHYSICAL, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL QUALITY IN AN OXISOL UNDER DIFFERENT TILLAGE AND FERTILIZER SOURCES**

*Soil quality (SQ) assessment is an important strategy for defining management practices and systems capable of maintaining and/or improving the sustainability of agricultural systems. Thus, the aim of this study was to evaluate changes in SQ by physical, chemical, and biological indicators in an Oxisol under different tillage systems and fertilizer sources. The study was conducted in Taquaruçu do Sul, RS, Brazil based on an experiment set up in 2009 in a randomized block design with four replications. The treatments studied were tillage systems (no-tillage, minimum tillage, and chisel plowing) associated with different fertilization practices (without fertilization, 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry, and mineral fertilizer). It was used as reference the soil of an area of native forest, adjacent to the experiment. Undisturbed and disturbed soil samples (0-10 and 10-20 cm) were taken to analyze the chemical, physical, and microbiological soil indicators, and Provid traps were installed to assess biological soil indicators. The soil physical indicators, bulk density, soil penetration resistance, macroporosity, and total porosity proved to be sensitive to changes in the soil caused by agricultural use compared to native forest. In contrast, physical-mechanical properties are not recommended for SQ assessments. Organic matter is the indicator most responsive to SQ degradation; however, the effects from soil tillage are not manifested in three years of study. Fertilization with 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry under no-tillage favors macrofauna diversity and microbial activity in the soil, and it constitutes an important soil management strategy in southern Brazil.*

*Keywords:* soil quality indicators, no-tillage, pig slurry.

## INTRODUÇÃO

A necessidade de entender e avaliar os indicadores de qualidade do solo (QS) tem sido apontada como um dos principais compromissos da ciência do solo (Cardoso et al., 2013; Lima et al., 2013). Diante disso, no início da década de 1990, como consequência de um movimento global de conscientização da importância do solo para a qualidade ambiental, por meio de estudos que abordam a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto, emergiu o conceito de QS (Doran e Parkin, 1994; Karlen et al., 1997; Vezzani e Mielniczuk, 2009; Cardoso et al., 2013). Entre as inúmeras definições propostas, Karlen et al. (1997) conceituaram QS como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a planta e a produtividade animal, manter e, ou, melhorar a qualidade do ar e da água e apoiar a saúde humana e a habitação.

Nesse contexto, a QS trata da integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude (Vezzani e Mielniczuk, 2009). Dessa forma, a manutenção da qualidade dessas propriedades proporciona condições adequadas para o crescimento

e desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (Doran e Parkin, 1994). Portanto, o monitoramento das alterações ocorridas nos atributos de solo em agroecossistemas, condicionadas pelos diferentes sistemas e práticas de manejo, é essencial para definir e traçar estratégias com menores impactos ao meio ambiente.

Sistemas de manejo que preconizam a mobilização do solo diminuem a matéria orgânica (Boddey et al., 2010) e aumentam o risco de erosão, levando a mudanças nas suas características químicas, físicas e biológicas (Cardoso et al., 2013). No entanto, sistemas de manejo que promovem mínima perturbação do solo, como o plantio direto associado a práticas conservacionistas, tendem a melhorar a fertilidade (Karlen et al., 2013), estrutura do solo (Vezzani e Mielniczuk, 2011) e atividade biológica (Franchini et al., 2007; Silva et al., 2010a), mantendo ou melhorando o equilíbrio e, consequentemente, a QS (Vezzani e Mielniczuk, 2009).

O uso de resíduos orgânicos na agricultura é uma prática de manejo comum em regiões com disponibilidade desses resíduos. No sul do Brasil, o dejetos líquido de suínos (DLS) tem sido largamente utilizado como fertilizante, substituindo parcialmente ou totalmente a fertilização mineral com NPK (Scherer et al., 2010; Gardini et al., 2012;

Lourenzi et al., 2013). Estudos têm demonstrado que sucessivas aplicações de DLS em superfície, sob sistemas sem revolvimento, promovem alterações nas propriedades do solo, como: melhorias da fertilidade nas camadas superficiais do solo, especialmente daqueles nutrientes com menor mobilidade (Scherer et al., 2010; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013); pouco ou nenhum efeito sobre os teores de carbono orgânico (Arruda et al., 2010; Scherer et al., 2010; Brunetto et al., 2012) e atributos de acidez do solo (Brunetto et al., 2012); favorecimento da atividade microbológica (Balota et al., 2012) e abundância de organismos no solo (Silva et al., 2014); e manutenção da qualidade estrutural do solo (Arruda et al., 2010).

Nesse sentido, diversos estudos investigam os efeitos de diferentes sistemas e práticas de manejos na QS, utilizando indicadores físicos (Tormena et al., 1999; Silva et al., 2010b; Vezzani e Mielniczuk, 2011; Silva et al., 2012; Lima et al., 2013), químicos (Karlen et al., 2013; Lima et al., 2013) e biológicos (Franchini et al., 2007; Silva et al., 2010a; Balota et al., 2012; Lisboa et al., 2012; Silva et al., 2014). No entanto, em razão da complexidade do solo, é indicado que esse monitoramento seja realizado por meio de um conjunto de indicadores que aliam atributos biológicos, físicos e químicos (Carneiro et al., 2009; Lima et al., 2013) e suas inter-relações, uma vez que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo (Carneiro et al., 2009).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na QS, por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos em um Latossolo Vermelho cultivado com diferentes sistemas de manejos e fertilizantes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no município de Taquaruçu do Sul, situado na região do Médio Alto Uruguai, Rio Grande do Sul, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: 27° 28' 00" (latitude sul) e 53° 26' 00" (longitude oeste) a uma altitude média de 480 m. O clima da região é o subtropical úmido, tipo Cfa (Köppen-Geiger), com temperatura média anual de 19 °C e precipitação de 1.800 a 2.000 mm bem distribuídos ao longo do ano. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (Santos et al., 2013) e apresentava as seguintes características na instalação do experimento em 2009: teor de argila: 450 g kg<sup>-1</sup>; pH(H<sub>2</sub>O): 5,7; P: 2,2 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); K: 66,5 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 10,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 3,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S: 12 mg dm<sup>-3</sup>; e matéria orgânica: 24 g kg<sup>-1</sup>.

O experimento-base foi implantado em uma área agrícola sob sistema plantio direto (mais de 10 anos), com tratamentos envolvendo os sistemas de manejos de solo: plantio direto (SPD), escarificação (ESC) e cultivo mínimo (CM) (escarificação + gradagem), associado a doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquido de suínos (DLS) e fertilização mineral (NPK), distribuídas sob o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Não houve necessidade de correção da acidez do solo antes da implantação do experimento. Durante a condução, foram implantadas a sucessão aveia/milho, nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, e trigo/soja, em 2011/12. Nesse período, os manejos de solo foram realizados uma única vez por ano, antecedendo as culturas de inverno (aveia e trigo), já as aplicações de DLS ocorreram antes da implantação das culturas de inverno e da cultura do milho no verão, totalizando cinco aplicações de DLS nos três anos de condução do trabalho. O DLS apresentava a seguinte composição química: matéria seca: 13,40 g kg<sup>-1</sup>; N: 3,51g kg<sup>-1</sup>; P: 0,37g kg<sup>-1</sup>; K: 0,45g kg<sup>-1</sup>; e pH(H<sub>2</sub>O): 7,8. Assim, em cada aplicação da dose de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS ao solo, foram adicionados 1.070 kg matéria seca; 280 kg de N; 30 kg de P e 35 kg de K. Mais informações sobre a origem do DLS são apresentadas em Pinto et al. (2014). As aplicações de fertilizantes minerais foram realizadas apenas para as culturas de verão, tomando-se como critério a recomendação da CQFS-RS/SC (2004).

Para este estudo, em abril de 2012 (após cultivo de verão), foram selecionados os tratamentos envolvendo os manejos de solo: SPD, ESC e CM, associados aos seguintes fertilizantes: sem fertilização, 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS e fertilizante mineral (NPK), compondo um experimento fatorial (3 × 3) com quatro repetições. Além disso, uma área de fragmento de mata nativa, pertencente à região fitoecológica da Floresta Estacional Decidual, localizada nas proximidades do experimento, foi utilizada como referência para comparar os resultados no experimento.

No quadro 1, é apresentado um resumo dos indicadores de QS avaliados e os métodos utilizados.

Para a análise dos indicadores físicos, foram coletadas três amostras indeformadas de solo por parcela, utilizando anéis volumétricos (50 mm diâmetro × 50 mm altura), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, devidamente fechados com tampas e acondicionados para evitar perdas de umidade e danos à estrutura do solo. Além disso, foram realizadas avaliações de resistência à penetração do solo na profundidade de 0-40 cm, em cinco pontos da parcela, utilizando um penetrômetro digital portátil PenetroLOG® - Falker. Para avaliar os indicadores químicos, foram coletadas três amostras deformadas de solo, usando pá de corte, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 65 °C e preparadas para as análises laboratoriais. Nesses mesmos locais,

**Quadro 1. Indicadores físicos, químicos, biológicos e microbiológicos do solo e os respectivos métodos utilizados para a sua determinação**

Indicador	Método	Referência
Físico		
Densidade do solo	Anel volumétrico	Embrapa (1997)
Macro, micro e porosidade total	Câmara de Richards	Embrapa (1997)
Pressão de pré-consolidação, densidade relativa e índice de compressão do solo	Consolidômetro automatizado (CNTA-IHM/BR-001/07)	Silva et al. (2007b), Ortigara et al. (2014)
Resistência à penetração	Penetrômetro digital portátil	PenetroLOG - Falker
Químico		
pH(H <sub>2</sub> O)	Potenciometria	Tedesco et al. (1995)
Matéria orgânica	Walkley-Black	Tedesco et al. (1995)
Fósforo disponível	Extrator Mehlich-1	Tedesco et al. (1995)
Potássio disponível	Extrator Mehlich-1	Tedesco et al. (1995)
Nitrogênio mineral	Método Kjeldahl	Tedesco et al. (1995)
Biológico		
Número de grupos	-	-
Abundância de indivíduos	-	-
Diversidade de Simpson (1-D)	Índice	Simpson (1949)
Diversidade de Shannon	Índice	Shannon (1948)
Diversidade de Margalef	Índice	Margalef (1951)
Microbiológico		
Carbono da biomassa microbiana (CBM)	Fumigação incubação	Reis Jr. e Mendes (2007)
Respiração basal do solo (RBS)	CO <sub>2</sub> evoluído com extração pelo NaOH	Silva et al. (2007a)
Quociente metabólico (qCO)	Relação respiração e carbono da biomassa microbiana	Silva et al. (2007a)

amostras deformadas da camada de 0-10 cm foram coletadas e armazenadas sob refrigeração (4 °C), imediatamente após a coleta, para determinar os atributos microbiológicos em laboratório. Para estimar a fauna edáfica, utilizou-se o método Provid (Antoniolli et al., 2006), sendo instalada uma armadilha em cada repetição, permanecendo no local por um período de cinco dias, e posteriormente levada ao laboratório para identificação. A partir dos dados obtidos, foram calculados a abundância e os índices de diversidade da macrofauna edáfica.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Além disso, os dados foram comparados com os obtidos no solo da mata nativa (testemunha), aplicando o teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ). Todas as análises foram realizadas utilizando o *software Statistical Analysis Systems - SAS*, versão 9.3 (SAS Institute Inc.).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Indicadores físicos de qualidade do solo

A adoção de diferentes sistemas de manejo do solo, associada à utilização de fertilização com 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>

de DLS e fertilizante mineral (NPK), por três anos consecutivos, em área destinada à produção de grãos, influenciou negativamente a qualidade física do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, quando comparada ao solo de mata nativa (Quadro 2).

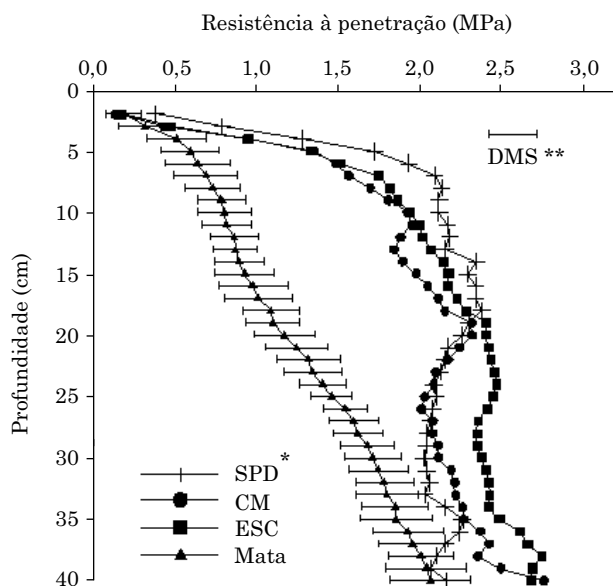
Independentemente do sistema de manejo e fertilizante utilizado, verificaram-se elevação dos valores de densidade (DS), densidade relativa (DR) e resistência à penetração (RP) do solo (Figura 1) e consequente redução da macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT) na maioria dos tratamentos, em relação ao solo de mata nativa. Esses resultados indicaram que sistemas agrícolas com manejos do solo orientado à produção de grãos condicionam importantes modificações nos atributos físicos do solo, resultando na compactação das suas camadas superficiais.

Os valores médios de DS (Quadro 2) variaram de 1,40 a 1,51 kg dm<sup>-3</sup> na camada superficial (0-10 cm) e de 1,30 a 1,50 kg dm<sup>-3</sup> na camada subsuperficial (10-20 cm), estando enquadradas na faixa de limites críticos ao crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas em solo argiloso (Reichert et al., 2009b). Em relação à porosidade de aeração (macroporos) (Quadro 2), percebeu-se que houve redução significativa em relação às condições de mata nativa, onde, de maneira geral, em uso agrícola do solo, independentemente do

**Quadro 2. Indicadores físicos: densidade do solo (DS), densidade relativa (DR), Macroporosidade (Macro), Microporosidade (Micro), porosidade total (PT), e físico-mecânicos: pressão de pré-consolidação (PPC), índice de consolidação (IC), densidade máxima (DMáx), de um Latossolo Vermelho manejado com plantio direto, escarificação ou cultivo mínimo, sem fertilização ou fertilizado com dejetos líquido de suíno (DLS) ou fertilizante mineral (NPK) e do solo em uma mata nativa**

Tratamento	Plantio direto		Escarificação		Cultivo mínimo	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
DS (kg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	1,42 aA*	1,43 aA*	1,44 aA*	1,50 aA*	1,45 aA*	1,43 aA*
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	1,51 aA*	1,49 aA*	1,42 aA*	1,38 aA*	1,49 aA*	1,41 aA*
NPK	1,40 aA*	1,36 aA*	1,40 aA*	1,30 aA*	1,46 aA*	1,42 aA*
CV (%)	5,21	7,43	5,21	7,43	5,21	7,43
Mata nativa	0,92	0,90	0,92	0,90	0,92	0,90
DR (kg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	0,90 aA*	0,85 aA*	0,91 aA*	0,94 aA*	0,84 aA*	0,87 aA*
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,88 aA*	0,89 aA*	0,85 aA*	0,87 aA*	0,93 aA*	0,89 aA*
NPK	0,85 aA*	0,89 aA*	0,88 aA*	0,82 aA*	0,84 aA*	0,86 aA*
CV (%)	4,94	6,89	4,94	6,89	4,94	6,89
Mata nativa	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Macro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	0,09 aA	0,05 aA*	0,08 aA	0,05 aA	0,08 aA*	0,08 aA*
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,03 aA*	0,06 aA*	0,09 aA	0,11 aA	0,07 aA*	0,09 aA*
NPK	0,08 aA	0,04 aA*	0,11 aA	0,04 aA	0,08 aA*	0,10 aA*
CV (%)	43,28	50,23	43,28	50,23	43,28	50,23
Mata nativa	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	0,38 aA	0,41 aA	0,39 aA	0,41 aA	0,40 aA	0,37 aA*
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,38 aA	0,41 aA	0,41 aA	0,41 aA	0,42 aA	0,38 aA
NPK	0,39 aA	0,40 aA	0,38 aA	0,42 aA	0,41 aA	0,40 aA
CV (%)	9,87	10,65	9,87	10,65	9,87	10,65
Mata nativa	0,45	0,44	0,45	0,44	0,45	0,44
PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	0,47 aA*	0,46 aA*	0,48 aA*	0,46 aA*	0,47 aA*	0,47 aA*
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,41 aA*	0,48 aA*	0,51 aA*	0,52 aA	0,48 aA*	0,47 aA*
NPK	0,47 aA*	0,45 aA*	0,49 aA*	0,46 aA	0,49 aA*	0,50 aA*
CV (%)	8,40	8,45	8,40	8,45	8,40	8,45
Mata nativa	0,60	0,58	0,60	0,58	0,60	0,58
PPC (kPa)						
Sem fertilização	71,73 aA	59,03 bA	140,70 aA	101,35 aA	88,23 aA	126,90 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	98,23 aA	137,03 aA	66,50 aA	82,37 aAB	73,83 aA	59,33 aB
NPK	101,70 aA	88,21 abA	72,07 aA	63,30 aA	86,47 aA	84,07 aA
CV (%)	54,89	45,09	54,89	45,09	54,89	45,09
Mata nativa	70,80	77,60	70,80	77,60	70,80	77,60
IC						
Sem fertilização	0,12 bA	0,18 aA	0,13 aA	0,13 aA	0,18 abA	0,18 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,15 bA	0,15 aA	0,15 aA	0,15 aA	0,10 bA	0,14 aA
NPK	0,19 aA	0,16 aA	0,16 aA	0,16 aA	0,18 aA	0,15 aA
CV (%)	27,75	43,47	27,75	43,47	27,75	43,47
Mata nativa	0,48	0,43	0,48	0,43	0,48	0,43
DMáx (kg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	1,58 bA	1,70 aA	1,58 aA	1,61 aA	1,63 abA	1,63 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	1,71 aA	1,67 abA	1,66 aA	1,59 aA	1,61 bA	1,59 aA
NPK	1,64 abAB	1,52 bA*	1,58 aB	1,55 aA	1,75 aA	1,65 aA
CV (%)	4,55	6,23	4,55	6,23	4,55	6,23
Mata nativa	1,61	1,71	1,61	1,71	1,61	1,71

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha entre manejos em mesma profundidade não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); e as seguidas de \* diferem significativamente da mata nativa pelo teste de Dunnett (p<0,05).



**Figura 1. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejos e em mata nativa, Taquaruçu do Sul, RS, em que \*SPD: sistema plantio direto; CM: cultivo mínimo; ESC: escarificação; e \*\*DMS: diferença mínima significativa (teste t,  $p < 0,05$ ).**

manejo adotado, os valores ficaram abaixo de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , limite inferior considerado crítico, quando associado a elevados valores de densidade e resistência à penetração do solo (Reichert et al., 2009b; Silva et al., 2010b).

Quanto aos valores de resistência à penetração (RP), mesmo estando próximo de 2 MPa na camada de 0-10 cm, considerado limite crítico ao crescimento radicular (Tormena et al., 1999; Silva et al., 2010b), percebeu-se aumento nas camadas mais profundas, dando indícios de restrição ao aprofundamento radicular das culturas (Figura 1). No SPD, verificou-se uma camada superficial mais compactada (7,5-20,0 cm), reduzindo os valores de RP em profundidades maiores. Camadas superficiais mais adensadas no SPD são confirmadas na literatura (Cherubin et al., 2011; Silva et al., 2012), como resultado do histórico de tráfego de máquinas associado ao não revolvimento do solo. Nos sistemas CM e ESC, os valores de RP aumentaram até 40 cm.

Além de verificar maior estado de compactação do solo com uso agrícola em comparação ao solo de mata nativa, outra importante constatação deve-se à ausência de alterações nas propriedades físicas do solo atreladas à adoção de diferentes sistemas de manejo de solo na área agrícola. A hipótese de que sistemas de manejo que promoviam o revolvimento do solo, como o ESC e CM, reduziriam o estado de compactação ao longo do tempo não foi confirmada. Portanto, esses resultados apontaram que os efeitos da ESC e do CM

do solo foram os de curta duração, não se mantendo no período de 12 meses sob normal regime pluviométrico, visto que a última intervenção de manejo na área havia sido realizada antecedendo o cultivo de inverno (um ano antes deste estudo). Essa constatação é endossada pelos resultados de Reichert et al. (2009a), Girardello et al. (2011) e Silva et al. (2012), os quais verificaram que os efeitos da escarificação mecânica do solo se prolongaram por períodos inferiores a um ano. Entretanto, ressalta-se que o efeito da escarificação no curto prazo possivelmente promoveu condições mais favoráveis ao desenvolvimento radicular das plantas, condicionando maior produtividade da cultura do milho nessa área, conforme apresentado por Pinto et al. (2014).

Os indicadores físicos-mecânicos relacionados à capacidade de suporte de carga do solo (Quadro 2), em geral, não evidenciaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo e fertilizantes, adotados na área agrícola, bem como não apresentaram diferenças em relação ao solo de mata nativa. Ressalta-se que a pressão de pré-consolidação em média foi superior no solo cultivado; no entanto, em razão da alta variação dos dados, expressa pelos valores de coeficientes de variação, essas diferenças não foram confirmadas estatisticamente. Essas variações podem ser atribuídas aos inúmeros fatores que interferem esses atributos, como: mudanças na tensão total, processo de secagem e umedecimento, textura, estrutura, densidade, manejo, alterações nos atributos químicos, agentes cimentantes, entre outros (Silva et al., 2010b).

Com base nos resultados, verificou-se que a identificação de um comportamento claro desses atributos físico-mecânico demanda de experimentos de longa duração, com condições de manejo bem contrastantes. Dessa forma, tais atributos não atentam aos critérios básicos para serem considerados bons indicadores de QS (Doran e Parkin, 1994); portanto, sugere-se que esses não sejam incluídos em futuros estudos de avaliação de QS.

Os fertilizantes não proporcionaram diferenças nas propriedades físicas do solo, indicando que há necessidade de maior período de tempo para que os efeitos da fertilização possam se manifestar. Tais resultados também foram observados por Arruda et al. (2010).

### Indicadores químicos de qualidade do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) foi influenciada negativamente pelos sistemas de manejo na camada superficial (0-10 cm), em comparação à mata nativa (Quadro 3), demonstrando ser indicador eficiente para discriminar mudanças na QS (Conceição et al., 2005). Esses resultados concordaram com os observados por Boddey et al. (2010) e Vezzani e Mielniczuk (2011), em trabalhos realizados no sul do Brasil, onde os teores de MOS e o estoque de C orgânico foram superiores em área não antropizada, comparados aos SPD e ao

preparo convencional. Contudo, experimentos de longa duração têm demonstrado que os teores de MOS são influenciados pelos manejos do solo, com incremento dos teores na camada superficial do solo no SPD em relação ao preparo convencional (Conceição et al., 2005; Boddey et al., 2010; Vezzani e Mielniczuk, 2011). Essas diferenças podem não ter sido observadas neste estudo em virtude da curta duração dos manejos (três anos) e também por não haver o manejo plantio convencional, onde essas alterações são mais impactantes.

Do mesmo modo, não foi observada diferença significativa nos teores de MOS em relação aos fertilizantes. Entretanto, verificaram-se reduções nos teores de MOS em relação à vegetação nativa. Isso se justifica pela baixa adição de C advinda do DLS, visto que esse apresentava apenas 1,34 % de matéria seca total. Scherer et al. (2010), estudando áreas de Latossolo, Cambissolo e Neossolo, com mais de 15 e 20 anos de aplicações de DLS e NPK, observaram esses mesmos resultados para a profundidade 0-20 cm.

**Quadro 3. Indicadores químicos de um Latossolo Vermelho manejado com plantio direto, escarificação ou cultivo mínimo, sem fertilização ou fertilizado com dejetos líquido de suíno (DLS) ou fertilizante mineral (NPK) e do solo em uma mata nativa**

Tratamento	Plantio direto		Escarificação		Cultivo mínimo	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )						
Sem fertilização	21,30 aA*	16,90 aA	20,50 aA*	18,30 aA	22,30 aA*	16,50 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	23,50 aA*	17,00 aA	18,30 aA*	15,00 aA	28,90 aA*	17,80 aA
NPK	20,10 aA*	16,90 aA	21,60 aA*	17,70 aA	24,80 aA*	20,60 aA
CV (%)	14,61	23,29	14,61	23,29	14,61	23,29
Mata nativa	42,91	19,37	42,91	19,37	42,91	19,37
P (mg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	4,62 aA	2,22 aA	5,07 bA	3,38 aA	4,76 cA	1,83 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	6,17 aB	1,48 aA	11,81 aA	3,49 aA	9,97 aA	3,59 aA
NPK	7,65 aA	1,73 aA	8,21 aA	2,11 aA	5,49 bA	4,47 aA
CV (%)	37,47	38,79	37,47	38,79	37,47	38,79
Mata nativa	9,09	2,64	9,09	2,64	9,09	2,64
K (mg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	166,67 aA	51,67 aA	138,72 bA	66,67 aA	191,67 aA	56,67 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	186,69 aB	33,33 aA	286,67 aA*	108,33 aA	243,33 aAB	125,00 aA
NPK	136,67 aA	51,67 aA	150,00 aA	40,00 aA	175,00 aA	108,33 aA
CV (%)	29,14	74,09	29,14	74,09	29,14	74,09
Mata nativa	96,67	35,00	96,67	35,00	96,67	35,00
N (mg dm <sup>-3</sup> )						
Sem fertilização	25,67 aA	16,33 aA	35,99 aA	13,42 aA	26,83 aA	23,33 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	19,83 aA	31,50 aA	25,67 aA	29,17 aA	32,67 aA	25,67 aA
NPK	24,50 aA	33,83 aA	25,67 aA	22,17 aA	33,83 aA	23,33 aA
CV (%)	32,73	36,20	32,73	36,20	32,73	36,20
Mata nativa	32,67	25,67	32,67	25,67	32,67	25,67
pH(H <sub>2</sub> O)						
Sem fertilização	5,28 abB*	5,32 abB	5,59 aA	5,59 aA	5,42 aAB	5,49 aAB
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	5,38 aA	5,52 aB	5,41 abA	5,18 bB	5,41 aA	5,34 aAB
NPK	5,19 bB*	5,25 bA	5,38 bA	5,46 aA	5,30 aAb*	5,28 aA
CV (%)	1,78	2,70	1,78	2,70	1,78	2,70
Mata nativa	5,82	5,43	5,82	5,43	5,82	5,43

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha entre manejos em mesma profundidade não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); e as seguidas de \* diferem significativamente da mata nativa pelo teste de Dunnett (p<0,05).



Os teores de P, K e N, em geral, não sofreram alterações significativas entre os sistemas de manejo do solo (Quadro 3), assemelhando-se aos observados por Silveira e Stone (2001) e Sharma et al. (2005). Porém, alguns trabalhos de longa duração apontaram diferenças para esses elementos entre sistemas de manejo do solo na camada de 0-5 cm (Falleiro et al., 2003; Santos e Tómm, 2003), onde ocorreram maiores acúmulos de nutrientes no SPD por causa das aplicações de fertilizantes superficiais à decomposição de resíduos vegetais na superfície do solo. Neste estudo, observou-se que os teores de MOS, fósforo, potássio e nitrogênio decresceram da camada superficial (0-10 cm) para a subsuperficial (10-20 cm).

Em relação à fertilização, verificou-se que os teores de P na camada 0-10 cm foram inferiores no tratamento sem fertilização, comparados com a aplicação de DLS para os manejos ESC e CM. Os teores de K foram menores estatisticamente apenas no tratamento sem fertilização no ESC; além disso, notou-se tendência numérica de que os tratamentos com DLS apresentaram maiores teores de K em todos os manejos de solo. Esse incremento de nutrientes em superfície em áreas com períodos mais longos de sucessivas aplicações de DLS é amplamente reportado na literatura (Scherer et al., 2010; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013).

Os valores de pH(H<sub>2</sub>O) do solo foram inferiores aos do solo de mata nativa em apenas três tratamentos (SPD sem adubação, SPD com NPK e CM com NPK); entretanto, verificou-se tendência de acidificação na camada de 0-10 cm em todos os manejos e as adubações estudadas, quando

comparada ao solo de mata nativa (Quadro 3). Em áreas agrícolas, a acidez do solo é acentuada pela absorção dos cátions básicos pelas culturas e pela exportação com as colheitas, pelo manejo inadequado do solo, favorecendo a erosão e exposição de horizontes subsuperficiais (mais ácidos), pelo uso de fertilizantes nitrogenados e pela oxidação do S e da MOS (Souza et al., 2007).

### Indicadores biológicos da qualidade do solo

A coleta da fauna edáfica que vive na superfície do solo identificou as seguintes ordens de macroinvertebrados: Himenoptera, Collembola, Dermaptera, Hymenoptera, Orthoptera, Hemiptera, Aranae, Coleoptera, Hornoptera, Lepidoptera, Diptera e Acarina.

De acordo com os dados e as análises realizadas, verificou-se que não houve interação significativa entre os sistemas de manejo do solo e o tipo de fertilizante para as variáveis: abundância, número de grupos, riqueza de Margalef, dominância de Simpson e diversidade de Shannon. Ao analisar isoladamente cada fator de variação, percebeu-se que a ESC proporcionou maior dominância de Simpson e menor diversidade de Shannon (Quadro 4).

O índice de dominância de Simpson (D) indica a probabilidade de um entre dois indivíduos pertencerem a espécies diferentes, quando coletados ao acaso de grande e infinita comunidade. A faixa de valores varia de 0 a 1, sendo o 1 equivalente à dominância máxima. Assim, percebeu-se que a ESC promoveu maior dominância de espécies (0,49) e menor diversidade em relação aos manejos mais conservacionistas. O índice de diversidade de Shannon considera igual peso entre as espécies

**Quadro 4. Abundância, número de grupos, riqueza de Margalef, dominância de Simpson e diversidade de Shannon da fauna edáfica em um Latossolo Vermelho manejado com plantio direto, escarificação ou cultivo mínimo, sem fertilização ou fertilizado com dejetos líquidos de suíno (DLS) ou fertilizante mineral (NPK) e do solo em uma mata nativa**

Fator de variação	Abundância	Número de grupos	Riqueza de Margalef	Dominância de Simpson	Diversidade de Shannon
Manejo					
Escarificação	33,2 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	0,49 a	0,40 b
Plantio direto	26,1*	5,0	2,9	0,37 b	0,54 a
Cultivo mínimo	23,2*	5,1	3,2	0,32 b	0,58 a
CV (%)	57,7	28,6	32,0	20,80	17,50
Mata nativa	49,3	5,3	2,5	0,33	0,57
Fertilização					
Sem fertilização	28,9 <sup>ns</sup>	4,2 b	2,3 b	0,41 <sup>ns</sup>	0,46 b
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	27,3*	5,8 a	3,4 a	0,34	0,58 a
NPK	26,3*	4,4 b	2,5 ab	0,43	0,46 b
CV (%)	57,7	28,6	32,0	20,80	17,50
Mata nativa	49,3	5,3	2,5	0,33	0,57

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); as seguidas de \* diferem significativamente da mata nativa pelo teste de Dunnett (p<0,05); e <sup>ns</sup>: não significativo.

raras e abundantes e é estimado pelo logaritmo base 10, variando de 0 a 1, onde 1 a diversidade é máxima. Quando comparados os sistemas de manejo, verificou-se que a manutenção da palhada e a menor ação antrópica do solo (CM e SPD) possibilitaram maiores índices de diversidade de Shannon (0,58; e 0,54) das comunidades de macroinvertebrados do solo em relação ao manejo ESC (0,40).

Quanto aos fertilizantes, notou-se que a adição de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS proporcionou maior número de grupos, riqueza de Margalef e diversidade de Shannon (Quadro 4). Tais resultados demonstraram que a utilização do DLS, abundante na região de estudo, além de ser fonte de nutrientes às culturas, pode favorecer a atividade biológica no solo e consequentemente promover melhorias na QS. Além disso, o uso de DLS promove ganhos de produtividade tanto na produção de matéria seca da sucessão aveia/milho e quanto na produtividade de grãos de milho (Pinto et al., 2014).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi influenciado pelo tratamento com DLS, que apresentou valores significativamente maiores aos obtidos no solo de mata nativa, sendo também significativamente superior à fertilização mineral no SPD (Quadro 5). O DLS é uma fonte de nutrientes e de compostos orgânicos que têm

efeito positivo na biomassa microbiana (Balota et al., 2012). No SPD com aplicação de DLS, durante a decomposição dos resíduos culturais, uma parte do C é assimilada pela biomassa microbiana juntamente com os nutrientes providos do DLS (Giacomini e Aita, 2008), gerando combinação benéfica ao desenvolvimento e à manutenção dos microrganismos. Os demais sistemas de manejo não apresentaram diferença significativa entre os fertilizantes.

No sistema ESC e na aplicação de DLS, a respiração basal do solo (RBS) foi maior quando comparada aos outros dois manejos, o que pode estar relacionado ao revolvimento do solo, promovendo aceleração na decomposição da fração facilmente decomponível do material orgânico adicionado ao solo (Rheinheimer et al., 2003; Giacomini e Aita, 2008). Para o ESC, ainda foi observada diferença significativa entre os fertilizantes, onde o tratamento com uso de DLS apresentou maior RBS, quando comparado ao sem adubação e fertilização mineral, que não diferiram entre si.

Com relação ao quociente metabólico ( $qCO_2$ ), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados em razão dos altos coeficientes de variação (CVs) observados e característicos para essa variável microbiológica.

**Quadro 5. Indicadores microbiológico [carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ )] de um Latossolo Vermelho manejado com plantio direto, escarificação ou cultivo mínimo, sem fertilização ou fertilizado com dejetos líquido de suíno (DLS) ou fertilizante mineral (NPK) e do solo em uma mata nativa**

Tratamento	Plantio direto	Escarificação	Cultivo mínimo
CBM (mg kg <sup>-1</sup> de C)			
Sem fertilização	744,06 abA <sup>(1)</sup>	571,56 aA	527,05 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	1.085,09 aA*	827,93 aA*	1.109,94 aA*
NPK	217,02 bA	523,46 aA	796,93 aA
CV (%)	63,52	63,52	63,52
Mata nativa	480,54	480,54	480,54
RBS (mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> de C-CO <sub>2</sub> )			
Sem fertilização	0,46 aA	0,46 bA	0,28 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,40 aB	1,10 aA*	0,36 aB
NPK	0,28 aA*	0,22 bA	0,20 aA
CV (%)	35,63	35,63	35,63
Mata nativa	0,49	0,49	0,49
$qCO_2$ (mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> de C-CO <sub>2</sub> do CBM)			
Sem fertilização	0,24 aA	0,73 aA	0,18 aA
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> de DLS	0,16 aA	0,38 aA	0,14 aA
NPK	0,79 aA	0,26 aA	0,15 aA
CV (%)	135,19	135,19	135,19
Mata nativa	0,46	0,46	0,46

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); e as seguidas de \* diferem significativamente da mata nativa pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

## CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo são potenciais indicadores para avaliar a QS, verificadas pelas alterações significativas da densidade, resistência à penetração, macroporosidade e porosidade total, promovidas pelos sistemas de manejo e pelas fertilizações.

As propriedades físico-mecânicas do solo são, a curto prazo, pouco sensíveis aos efeitos dos manejos e dos fertilizantes; portanto não são recomendadas como indicadores de QS.

A matéria orgânica é o indicador mais sensível à degradação da QS, entretanto, a diferenciação entre sistemas de manejos do solo requer estudos de maior duração.

A adubação com 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS sob SPD favorece a diversidade da macrofauna e a atividade microbológica do solo, evidenciando-se uma estratégia de manejo importante para a região sul do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- Antoniolli ZI, Conceição PC, Bock V, Port O, Silva DM, Silva RF. Método alternativo para estudar a fauna do solo. *Ci Flor*. 2006;16:407-17.
- Arruda CAO, Alves MV, Mafra AL, Cassol PC, Albuquerque JA, Santos JCP. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ci Agrotec*. 2010;34:804-9.
- Balota EL, Machineski O, Matos MA. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. *R Bras Eng Agríc Amb*. 2012;16:487-95.
- Boddey RM, Jantalia CP, Conceição PC, Zanatta JA, Bayer C, Mielniczuk J, Dieckow J, Dos Santos HP, Denardin JE, Ai Ta C, Giacomini SJ, Alves BJR, Urquiaga S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biol*. 2010;16:784-95.
- Brunetto G, Comin JJ, Schmitt DE, Guardini R, Mezzari CP, Oliveira BS, Moraes MP, Gatiboni LC, Lovato PE, Ceretta CA. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. *R Bras Ci Solo*. 2012;36:1620-8.
- Cardoso EJBN, Vasconcellos RLF, Bini D, Miyauchi MYH, Santos CA, Alves PRL, Paula AM, Nakatani AS, Pereira JM, Nogueira MA. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci Agric*. 2013;70:274-89.
- Carneiro MAC, Souza ED, Reis EF, Pereira HS, Azevedo WR. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R Bras Ci Solo*. 2009;33:147-57.
- Cherubin MR, Santi AL, Basso CJ, Eitelwein MT, Vian AL. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. *R Plantio Direto*. 2011;125:1-9.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10ª ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2004.
- Conceição PC, Amado TJC, Mielniczuk J, Sapagnollo E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R Bras Ci Solo*. 2005;29:777-88.
- Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA, editors. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America; 1994. p.1-20. (Special, 35).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.
- Falleiro RM, Souza CM, Silva CSW, Sediama CS, Silva AA, Fagundes JL. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R Bras Ci Solo*. 2003;27:1097-104.
- Franchini JC, Crispino CC, Souza RA, Torres E, Hungria M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Till Res*. 2007;92:18-29.
- Giacomini SJ, Aita C. Emissão de dióxido de carbono após aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. *Pesq Agropec Bras*. 2008;43:107-14.
- Girardello VC, Amado TJC, Nicoloso RS, Horbe TAN, Ferreira AO, Tabaldi FM, Lanza Nova ME. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *R Bras Ci Solo*. 2011;35:2115-26.
- Guardini R, Comin JJ, Schmitt DE, Tiecher TL, Bender MA, Santos DR, Mezzari CP, Oliveira BS, Gatiboni LC, Brunetto G. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutr Cycl Agroecosys*. 2012;93:215-25.
- Karlen DL, Kovar JL, Cambardella CA, Colvin TS. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil Till Res*. 2013;130:24-41.
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A Guest Editorial). *Soil Sci Soc Am J*. 1997;61:4-10.
- Lima ACR, Brussaard L, Totola MR, Hoogmoed WB, Goede RGM. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Appl Soil Ecol*. 2013;64:194-200.
- Lisboa BB, Vargas LK, Silveira AO, Martins AF, Selbach PA. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *R Bras Ci Solo*. 2012;36:45-55.
- Lourenzi CR, Ceretta CA, Silva LS, Girotto E, Lorensini F, Tiecher TL, De Conti L, Trentin G, Brunetto G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. *R Bras Ci Solo*. 2013;37:157-67.
- Margalef R. Diversidad de especies en las comunidades naturales. *Publ Inst Biol Aplic*. 1951;6:59-72.
- Ortigara C, Koppe E, Luz FB, Bertollo AM, Kaiser DR, Silva VR. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *R Bras Ci Solo*. 2014;38:619-26.
- Pinto MAB, Fabbris C, Basso CJ, Santi AL, Girotto E. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. *Pesq Agropec Trop*. 2014;44:205-12.

- Reichert JM, Kaiser DR, Reinert DJ, Riquelme UFB. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesq Agropec Bras*. 2009a;44:310-9.
- Reichert JM, Suzuki LEAS, Reinert DJ, Horn R, Hakansson I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till Res*. 2009b;102:242-54.
- Reis Junior FB, Mendes IC. Biomassa microbiana do solo. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2007. (Documentos, 205).
- Rheinheimer DS, Gonçalves CS, Pellegrini JBR. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. *Ci Amb*. 2003;27:85-96.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lubreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira JB, editores. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília, DF; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2013.
- Santos HP, Tomm GO. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo do solo. *Ci Rural*. 2003;33:477-86.
- Sharma KL, Mandal UK, Srinivas K, Vittal KPR, Mandal B, Grace JK, Ramesh V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil Till Res*. 2005;83:246-59.
- Shannon CE. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Technol J*. 1948;27:379-423; 623-56.
- Scherer EE, Nesi CN, Massotti Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R Bras Ci Solo*. 2010;34:1375-83.
- Silva AP, Babujia LC, Franchini JC, Souza A, Hungria M. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short and long-term experiments in Brazil. *Field Crops Res*. 2010a; 119:20-6.
- Silva AP, Tormena CA, Dias Junior M, Imhoff S, Klein VA. Indicadores da qualidade física do solo. In: Jong van Lier Q, editor. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2010b. p.241-281.
- Silva EE, Azevedo PHS, De-Polli H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2007a. (Comunicado técnico, 99).
- Silva RB, Lanças KP, Masquetto RJ. Consolidômetro: equipamento pneumático-eletrônico para avaliação do estado de consolidação do solo. *R Bras Ci Solo*. 2007b;31:607-15.
- Silva RF, Bertolo GM, Corassa GM, Cocco LB, Steffen RB, Basso CJ. Doses de dejetos líquidos de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema plantio direto e cultivo mínimo. *Ci Rural*. 2014;44:418-24.
- Silva SGC, Silva AP, Giarola NFB, Tormena CA, Sá, JCM. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. *R Bras Ci Solo*. 2012;36:547-55.
- Silveira PM, Stone LF. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. *R Bras Ci Solo*. 2001;25:387-94.
- Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949;163:688.
- Souza DMG, Miranda LN, Oliveira SA. Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p.206-74.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).
- Tormena CA, Silva AP, Libardi PL. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil Till Res*. 1999;52:223-32.
- Vezzani FM, Mielniczuk J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *R Bras Ci Solo*. 2011;35:213-23.
- Vezzani FM, Mielniczuk J. Uma visão sobre qualidade do solo. *R Bras Ci Solo*. 2009;33:743-55.