

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.3, p.474-482, jul.-set, 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 1226 - 22/11/2010 *Aprovado em 30/05/2011

DOI:10.5039/agraria.v6i3a1266

Henrique P. dos Santos^{1,3}

Renato S. Fontaneli¹

Silvio Tulio Spera²

Geizon Dreon^{1,4}

Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto

RESUMO

A evolução da fertilidade do solo foi avaliada num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Passo Fundo, RS, doze anos após o estabelecimento (1993, 2000, 2002 e 2005) de cinco sistemas de produção integração lavoura-pecuária: sistema I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; 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. As áreas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I, a partir do verão de 1996. Porém, no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V, o que era lavoura retornou a pastagem e o que era pastagem retornou a lavoura. Ocorreu uma acidificação em todas as camadas pelos menores valores de pH e maior concentração e saturação por Al, em comparação ao solo de 1998. O nível de matéria orgânica e os teores de P, de K e Al aumentaram entre os anos de 1998 e 2002, em todas as camadas amostradas, enquanto que, com os valores de pH, de Ca e de Mg, ocorreu o contrário.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária, pastagem anual, pastagem perene.

Soil fertility and organic matter in integrated crop/livestock farming production systems under no-tillage

ABSTRACT

Soil fertility attributes were evaluated on a typical dystrophic Red Latosol (typic Haplorthox) located in Passo Fundo, State of Rio Grande do Sul, Brazil, twelve years after the establishment (1993, 2000, 2002 and 2005) of five integrated crop/livestock farming production systems: system I - wheat/soybean, white oat/soybean, and common vetch/corn; system II - wheat/soybean, white oat/soybean, and grazed black oat + grazed common vetch/corn; system III - perennial cool season pastures (fescue + white clover + red clover + birds foot trefoil); system IV - perennial warm season pastures (bahiagrass + black oat + rye grass + white clover + red clover + birds foot trefoil); and system V - alfalfa as hay crop. The plots under systems III, IV, and V returned to system I after the summer of 1996. However, in the summer of 2002, in the systems III, IV and V, what used to be crop returned to pasture and what used to be pasture returned to crop. An acidification process occurred in all layers by the lowest pH values and higher concentration and saturation by Al, in comparison to the soil in 1998. The organic matter level and the P, K and Al levels increased between 1998 to 2002, in all sampled layers, while the opposite occurred with pH, Ca and Mg contents.

Key words: Crop/livestock integration, annual pasture, perennial pasture.

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil. Caixa Postal 451. Fone: (54) 3316-5800 Ramal: 5923. Fax: (54) 3316-5801. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br; renatof@cnpt.embrapa.br; geizon_dreon@hotmail.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Agrossilvipastoril, Rua das Jacarandás, 2.639, Centro, CEP 78550-003, Sinop-MT, Brasil. Fone: (66) 3532-7626 Ramal 204. Fax: (66) 3531-9488. E-mail: silvio.spera@embrapa.br

³ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

⁴ Bolsista de Iniciação Científica do CNPq

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção com integração lavoura e pecuária manejados sob sistema plantio direto (SPD) têm mostrado maior rentabilidade por área, maior diversificação de atividades, menor risco econômico e menor custo de produção (Balbinot Jr. et al., 2009; Macedo, 2009). Porém, para serem viáveis, devem ser identificados regionalmente sistemas de produção de média e longa duração, que integrem a produção de grãos com a de pastagens perenes que predominam localmente. Assim, pode-se atingir a sustentabilidade e podem-se obter melhores resultados econômicos.

Nesses sistemas, é importante incluir nas pastagens espécies de leguminosas que fixem nitrogênio e melhorem o valor nutritivo da forragem, contribuindo para o aumento da produção animal e o melhoramento das condições químicas do solo. As leguminosas, sempre que possível, devem ser incluídas no planejamento de sistemas de produção ou de rotação de culturas.

Em solos manejados com SPD também ocorre um acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS), de P e de K, sendo a magnitude desse efeito maior na camada superficial (Santos et al., 2009a; Vieira et al., 2009). O aumento de MOS em solos não revolvidos decorre da diminuição da taxa de decomposição microbiana da MOS no solo pela diminuição da temperatura e aeração, o aumento da cobertura do solo e o não fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais (Potes et al., 2010). Este aumento da MOS pode amenizar possíveis efeitos negativos da acidificação em solos sob SPD pela complexação de Al pelo carbono dissolvido na solução do solo (Spera, 2009).

No SPD, os fertilizantes são aplicados na linha de semeadura, na superfície do solo. Sendo assim, a dissolução dos fertilizantes fosfatados e a nitrificação dos nitrogenados amoniacais ou amídicos podem contribuir para a acidificação da camada superficial do solo, principalmente quando se consideram longos períodos de cultivo sem reaplicação de calcário, ou quando altas doses destes fertilizantes são aplicadas (Lange et al., 2006; Ernani, 2008).

A inclusão de plantas leguminosas em sistemas de produção é uma estratégia que deve ser avaliada em relação ao efeito nos estoques de carbono do solo. O aumento do rendimento de grãos das culturas comerciais em sucessão as plantas leguminosas também ocasiona um incremento da adição de resíduos vegetais não colhidos ao solo, favorecendo a acumulação de MOS e, conseqüentemente, de carbono (Godsey et al., 2007; Jantalia et al., 2008; Boddey et al., 2010). Portanto, o uso de plantas leguminosas como cobertura do solo ou pastagens, além do efeito no rendimento de grãos das culturas, pode, potencialmente, resultar na melhoria da qualidade ambiental, em comparação a sistemas tradicionais.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de produção ILP, com SPD, após doze anos de cultivo, sobre a fertilidade química e o teor de matéria orgânica do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado num experimento conduzido na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, no período entre os anos de 1993 e 2005, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Streck et al., 2008), de textura muito argilosa e com relevo suave ondulado a ondulado.

Os tratamentos consistiram de quatro sistemas de produção com integração de lavoura e pecuária (SPILP), sendo assim definidos: sistema I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema III - pastagens perenes para pastejo na estação fria (festuca + trevo branco + cornichão); sistema IV - pastagens perenes para pastejo na estação quente (pensacola + trevo vermelho + cornichão); e sistema V - alfafa para feno, acrescentado como tratamento adicional, com repetições em parcelas contíguas ao experimento, estabelecido em 1994. As parcelas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I, a partir do verão de 1996. Porém, no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V, o que era lavoura voltou a ser pastagem e o que era pastagem, a ser lavoura.

Em abril de 1993, antes da semeadura das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo em cada parcela, a uma profundidade de 0-20 cm, cujos valores médios de indicadores de fertilidade e de matéria orgânica foram: pH, 6,0; Al, 0,50 mmol_c dm⁻³; Ca, 68,2 mmol_c dm⁻³; Mg, 34,6 mmol_c dm⁻³; matéria orgânica, 23,0 g kg⁻¹; P, 5,3 mg kg⁻¹; e K, 60 mg kg⁻¹. Três anos antes da instalação do experimento foi efetuada uma calagem com calcário dolomítico, com base no método SMP (pH 6,0). As parcelas semeadas com alfafa foram corrigidas com 6,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%) para elevar o pH para 6,5, conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), aplicadas em duas vezes: metade antes da aração (arado de discos) e metade antecedendo a gradagem (grade de discos).

Em 2002 e 2005, um fragmento de floresta subtropical com araucárias, adjacente ao experimento, também foi amostrado, com o mesmo número de repetições, e admitido como referencial do estado de fertilidade do solo antes deste ser submetido às alterações antrópicas.

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a recomendação para cada cultura (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004) e baseada nos resultados de análise de solo. As amostras de solo usadas para recomendação foram coletadas a cada três anos, depois da colheita das culturas de verão (Tabela 1).

Nos meses de maio de 1998, 2000 e 2002, e em setembro de 2005, foram coletadas amostras de solo compostas de quatro subamostras por parcela, em cada uma das seguintes camadas: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm. As análises (pH em água, P, K, MOS, Al e Ca + Mg) seguiram os métodos descritos por Tedesco et al. (1995).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A área de cada parcela foi 400 m². Os SPILP foram comparados, dentro de cada ano e em análise conjunta dos anos, para cada propriedade química de solo, na mesma profundidade de amostragem (SAS, 2004). As camadas

Tabela 1. Valores de pH, Al, Ca, Mg, MOS, P e K, na camada de 0-20 cm, em diferentes anos*Table 1. pH, aluminum, calcium, magnesium, soil organic matter, phosphorus and potassium values, in the 0-20 cm layer, in different years*

Análise do solo	Ano			
	1993	1996	1999	2002
pH em H ₂ O (1:1)	6,0	6,0	6,1	5,7
Al trocável (mmol _c dm ⁻³)	0,5	0,2	0,9	1,2
Ca trocável (mmol _c dm ⁻³)	68	52	53	61
Mg trocável (mmol _c dm ⁻³)	35	35	36	30
MOS (g kg ⁻¹)	23	25	26	28
P extraível (mg kg ⁻³)	5,3	9,2	5,1	10,5
K disponível (mg kg ⁻³)	60	98	61	105

amostradas de solo foram comparadas no mesmo SPILP. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro, pois este teste permite comparar médias com número diferente de tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações de 2000, 2002 e 2005, o pH do solo (Tabelas 2 e 3), em todas as camadas e sistemas de produção integração lavoura-pecuária (SPILP), ocorreu em valores menores do que os verificados em 1998. Em todos os SPILP, observou-se perda gradual do efeito residual da calagem, que fora efetuada antes do estabelecimento do experimento. Resultados coincidentes de pH foi observado por Spera (2009) que também avaliou vários anos de rotação envolvendo culturas de inverno e verão. No caso do presente estudo, constatou-se acidificação da camada de 0-5 cm, indicando haver necessidade de recalagem, após doze anos, principalmente para possibilitar o cultivo eficiente de leguminosas (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004).

A acidificação do solo na camada superficial pode ter ocorrido em virtude da liberação de ácidos orgânicos por ocasião da decomposição da palha das culturas antecedentes ou em decorrência do uso de fertilizantes nitrogenados (Ernani, 2008).

Em 1998 e em 2000 não houve diferença de pH do solo entre os SPILP, na maioria das camadas avaliadas. Os valores de pH aumentaram gradativamente com o aprofundamento da camada do solo, possivelmente em razão do movimento de Ca para as camadas inferiores em razão da incorporação das bases Ca e Mg às camadas mais profundas, pelo crescimento de raízes e posterior mineralização, após sua morte (Ernani, 2008). A aplicação extra de calcário, no sistema V, foi mais que suficiente para manter o pH no nível indicado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). Ainda nesse ano, não houve diferença entre os SPILP para as demais camadas de amostragem. Em 2005, o sistema V mostrou valor de pH mais elevado do que os dos demais sistemas estudados, na camada de 0-5 cm. A floresta subtropical, que ainda preserva a

condição edáfica original, mostrou valor de pH menor do que os de todos os SPILP, em algumas camadas estudadas, devido à natureza ácida do solo. Na comparação entre anos, em cada camada, foi observada diferença no valor de pH solo de todos os SPILP. O valor de pH diminuiu entre os anos de 1998 e 2002, em todas as camadas de amostragem. Resultados comparáveis para os valores de pH foram obtidos por Santos et al. (2009b) em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária incluindo culturas anuais de inverno e de verão, sob plantio direto, na mesma classe de solo, no município de Coxilha, RS.

O valor de Al do solo, em 2000, 2002 e 2005 (Tabelas 2 e 3), na maioria das camadas e nos sistemas sem revolvimento do solo (I, II, III e IV), foi mais elevado do que na avaliação de maio de 1998. Valores equivalentes de Al foram observados por Santos et al. (2009b) após oito anos de sistema de produção com integração lavoura-pecuária. O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Em 1998, não foram observadas diferenças entre teor de Al em todos SPILP, em todas as camadas amostradas. Em 2000, com exceção da camada de 0-5 cm, não foram verificadas diferenças no teor de Al entre os SPILP.

Ao se comparar os anos, foi observado, em cada camada, diferença nos valores de Al de todos os SPILP. O teor de Al aumentou, nas três primeiras camadas, entre os anos de 1998 e 2002. Nas avaliações de 2000, 2002 e 2005, em todos os SPILP, houve redução do valor de pH e aumento do teor de Al na camada de 0-5 cm, em relação ao observado em maio de 1998, caracterizando acidificação da camada superficial. Isso pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes nitrogenados em todos os sistemas e à mineralização de resíduos vegetais na superfície do solo.

Os valores médios de Ca e de Mg do solo (Tabelas 2 e 3), em todas as camadas, em todos os anos estudados, mantiveram níveis considerados acima do crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas na região, ou seja, 40 e 10 mmol_c dm⁻³, respectivamente (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004). A área estudada havia sido corrigida com calcário dolomítico três anos antes do início do referido experimento. A aplicação de calcário promoveu elevação dos respectivos teores a valores acima dos níveis críticos exigidos pelas espécies que compuseram os sistemas de produção.

Nos anos de 1998 e 2000, o sistema V mostrou maior teor de Ca do que os demais SPILP, nas camadas de 5-10 e 10-15 cm. Isto foi devido à aplicação de calcário, em 1994, somente neste sistema. Ainda em 1998, o sistema IV mostrou maior valor de Mg, em comparação aos sistemas I, II, III e V, na camada de 0-5 cm. Os teores de Mg variaram com os anos, com os sistemas e entre as camadas, porém, nestas, os valores tenderam a ser maiores nas camadas superficiais. Em 2002, todos os SPILP mostraram valores de Mg mais elevados em comparação à floresta, na camada de 5-10 cm. Nos três primeiros anos avaliados, Santos et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes em sistemas de rotação de culturas incluindo trigo, após 4,5 anos de cultivo. Os teores de Ca e Mg, em todas as camadas diminuíram entre os anos de 1998 e 2002. Porém, entre 2002 e 2005, os valores de

Tabela 2. Valores médios de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de verão de 1998, 2000, 2002 e 2005, em quatro camadas de solo e em diferentes sistemas de produção com integração lavoura e pecuária**Table 2.** Mean values of pH in water, interchangeable aluminum, calcium magnesium, evaluated after the summer crop season of 1998, 2000, 2002 and 2005, in four layers of soil and in various crop/livestock production systems

Sistema de produção	Camada (cm)									
	0-5					5-10				
	1998	2000	2002	2005	C.V.	1998	2000	2002	2005	C.V.
----- pH (água 1:1) -----										
Sistema I	5,87 aA	5,52 aB	5,54 aB	5,43 abB	4	6,13 aA	5,71 aB	5,72 aB	5,44 aB	6
Sistema II	5,95 aA	5,54 aB	5,58 aB	5,33 bB	4	6,19 aA	5,89 aA	5,48 aB	5,42 aB	5
Sistema III	5,83 aA	5,39 aB	5,39 abB	5,32 bB	4	6,32 aA	5,53 aB	5,51 aB	5,38 aB	4
Sistema IV	5,83 aA	5,43 aB	5,20 bC	5,37 bC	2	6,30 aA	5,63 aB	5,56 aC	5,30 aC	4
Sistema V	6,30 aA	5,74 aB	5,58 aB	5,70 aB	3	6,50 aA	6,00 aB	5,83 aB	5,81 aB	4
Floresta			4,63 cA	5,00 cA	7			4,73 aA	4,78 aA	9
C.V.	4	3	4	4		4	7	5	5	
--- Alúminio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	0,38 aB	1,78 abA	1,03 aAB	1,96 bA	88	0,00 aB	1,36 aB	0,48 bB	4,26 bA	118
Sistema II	0,54 aC	1,51 abBC	1,92 aAB	2,72 bA	80	0,13 aB	0,83 aB	1,21 bB	4,87 bA	105
Sistema III	0,63 aA	2,66 aA	2,90 aA	3,49 bA	64	0,13 aB	1,63 aBC	2,52 bAB	5,23 bA	109
Sistema IV	0,38 aC	2,43 aAB	3,54 aA	1,93 bBC	70	0,13 aC	1,91 aBC	2,40 bB	4,64 bA	81
Sistema V	0,13 aB	0,83 bAB	1,50 aA	1,15 bA	102	0,00 aB	0,68 aAB	1,46 bA	1,88 bA	168
Floresta			11,30 aA	12,68 aA	86			17,50 aA	23,38aA	63
C.V.	124	69	115	94		212	144	116	100	
--- Cálcio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	56 aA	40 aC	49 bB	48 aB	7	59 bA	46 bBC	53 bAB	44 aC	12
Sistema II	58 aA	36 aC	44 bB	45 aB	9	58 bA	45 bB	48 bB	41 aB	14
Sistema III	54 aA	38 aC	48 bB	49 aaB	10	62 abA	43 bC	50 bB	47 aBC	13
Sistema IV	57 aA	40 aB	45 bB	55 aaA	10	59 bA	45 bB	49 bB	44 aB	12
Sistema V	73 aA	53 aB	59 aB	63 aB	14	70 aA	59 aB	63 aAB	62 aB	11
Floresta			34 cA	42 aA	50			23 cA	23 aA	66
C.V.	12	15	13	27		12	17	17	24	
--- Magnésio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	28 cA	22 aB	29 aA	23 aB	10	30 bA	25 aB	30 aA	22 aB	17
Sistema II	29 cA	20 aB	27 aA	22 aB	11	30 bA	26 aA	28 aA	21 aB	13
Sistema III	34 bA	26 aB	29 aAB	26 aB	17	38 aA	27 aC	31 aB	26 aC	12
Sistema IV	38 aA	25 aC	30 aB	28 aB	10	39 aA	28 aBC	31 aB	24 aC	12
Sistema V	32 bcAB	26 aC	34 aA	28 aBC	13	33 bAB	29 aB	36 aA	28 aB	16
Floresta			26 aA	22 aA	85			14 bA	14 aA	84
C.V.	8	21	30	27		9	22	25	26	

1998 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de inverno; ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão; e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula por ano, na vertical e mesma letra maiúscula por profundidade e sistemas de produção ILP, na horizontal, não apresentam diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ca e Mg em todas as camadas, mostraram novamente maiores valores. Esses resultados são também respaldados pelos de pH e de Al.

O teor de MOS observado na maioria das camadas e dos SPILP, em 2000, 2002 e 2005 (Tabelas 4 e 5), foi igual ou superior ao valor registrado quatro anos antes, indicando que o uso do sistema plantio direto (SPD) pode contribuir para o aumento do teor de MOS e, conseqüentemente, da

qualidade do solo, independentemente da quantidade de fertilizante aplicado. Nos primeiros anos de manejo com plantio direto, existe tendência à elevação do valor de MOS nas camadas próximas à superfície do solo, pois o nível de equilíbrio situa-se em valores intermediários entre aqueles sob vegetação natural e aqueles sob cultivo convencional. Na maioria dos estudos com SPD, tem sido observado acúmulo de MOS nas camadas superficiais do solo. O

acúmulo de MOS no SPD aumenta a força iônica da solução de solo na camada superficial. Assim, uma menor atividade iônica do alumínio, que é complexado pelo carbono dissolvido na solução do solo, pode explicar a menor de toxicidade do alumínio (Spera, 2009).

Em 1998, o sistema IV mostrou, na camada de 0-5 cm, maior teor de MOS que nos sistemas I e II. Essa diferença entre os sistemas pode ser explicada, em parte, pela presença de leguminosas perenes para pastejo (cornichão e trevo

vermelho) nos sistemas III e IV, o que não ocorre nos sistemas I e II. O uso de leguminosas, visando ciclagem de nutrientes e aumento do teor de N dos sistemas e elevação da matéria orgânica, tem sido uma estratégia para se atingir produção sustentável (Balbinot Jr. et al., 2009; Calegari et al., 2009; Boddey et al., 2010).

Em 2000 e 2002, em todas as camadas dos SPILP, não houve diferenças entre os teores de MOS. A acidez do solo, não corrigida nos anos anteriores, pode ter prejudicado o

Tabela 3. Valores médios de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de verão de 1998, 2000, 2002 e 2005, em duas camadas de solo e em diferentes sistemas de produção com integração lavoura e pecuária

Table 3. Mean values of pH in water, interchangeable aluminum, calcium and magnesium, evaluated after the summer crop season of 1998, 2000, 2002 and 2005, in two layers of soil and in various crop/livestock production systems

Sistema de produção	Camada (cm)									
	0-5					5-10				
	1998	2000	2002	2005	C.V.	1998	2000	2002	2005	C.V.
----- pH (água 1:1) -----										
Sistema I	6,34 aA	6,21 aAB	5,98 aAB	5,86 aB	5	6,16 abA	6,09 aA	5,97 aA	6,05 aA	5
Sistema II	6,37 aA	6,18 aAB	5,97 aBC	5,83 aC	4	6,14 bA	6,03 aA	6,06 aA	6,07 aA	4
Sistema III	6,60 aA	6,12 aB	5,92 aB	5,80 aB	5	6,20 abA	5,93 aA	6,13 aA	6,00 aA	5
Sistema IV	6,50 aA	6,13 aB	6,10 aB	5,68 aC	5	6,47 aA	6,28 aAB	5,98 aB	5,99 aB	5
Sistema V	6,57 aA	6,39 aAB	6,06 aBC	5,94 aC	5	6,37 abA	6,33 aA	6,04 aA	5,98 aA	6
Floresta			4,50 aA	4,60 aA	5			4,43 bA	4,65 aA	4
C.V.	3	6	5	5		4	6	5	5	
--- Aluminio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	0,00 aB	0,36 aAB	0,16 aB	1,02 aA	196	0,13 aA	0,52 aA	0,27 aA	0,48 aA	246
Sistema II	0,00 aA	0,40 aA	0,32 aA	1,56 aA	250	0,17 aA	0,92 aA	0,16 aA	0,37 aA	266
Sistema III	0,00 aA	0,20 aA	0,75 aA	1,43 aA	194	0,38 aA	0,36 aA	0,63 aA	0,88 aA	221
Sistema IV	0,00 aB	0,40 aB	0,56 aB	2,40 aA	169	0,00 aA	0,33 aA	0,70 aA	0,57 aA	214
Sistema V	0,00 aA	0,04 aA	0,91 aA	2,63 aA	317	0,00 aA	1,15 aA	2,13 aA	3,71 aA	242
Floresta				27,95 aA	33,18 aA	30		33,13aA	33,28 aA	21
C.V.	0	252	94	86		272	332	57	70	
--- Cálcio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	63 bA	50 bC	58 aAB	51 bBC	12	59 aA	48 aB	55 aAB	54 aA	12
Sistema II	61 bA	47 bC	55 aAB	50 bBC	11	58 aA	46 aB	54 aA	55 aA	11
Sistema III	60 bA	49 bB	58 aA	53 bAB	11	69 aA	47 aC	59 aB	56 aB	12
Sistema IV	61 bA	48 bB	58 aA	50 bB	11	60 aA	51 aB	56 aAB	55 aAB	12
Sistema V	71 aA	62 aA	65 aA	64 aA	14	62 aA	60 aA	61 aA	62 aA	16
Floresta			11 bA	12 cA	53			7 bA	10 aA	71
C.V.	8	16	18	19		16	17	17	17	
--- Magnésio (mmol _c dm ⁻³) ---										
Sistema I	32 cA	29 aAB	32 aA	26 aB	13	31 bcAB	29 aB	33 aA	27 aB	13
Sistema II	31 cA	28 aAB	32 aA	24 aB	13	29 cAB	28 aAB	31 aA	26 aB	13
Sistema III	41 aA	31 aBC	36 aAB	28 aC	15	35 ab AB	30 aBC	37 aA	28 aC	16
Sistema IV	35 bcA	30 aB	36 aA	27 aB	14	36 aA	32 aAB	35 aA	28 aB	13
Sistema V	38 abA	33 aAB	37 aA	29 aB	13	37 aA	34 aAB	37 aA	29 aB	14
Floresta			9 bA	8 aA	93			6 bA	8 aA	93
C.V.	11	21	23	20		11	18	21	19	

1998 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de inverno; ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão; e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula por ano, na vertical e mesma letra maiúscula por profundidade e sistemas de produção ILP, na horizontal, não apresentam diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

desempenho das espécies de inverno como de verão, acarretando, conseqüentemente, menor acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo (Santos et al., 2009b). Pelo observado, neste estudo, com o passar dos anos, os valores de MOS das pastagens perenes para pastejo na estação fria e na estação quente e da alfafa para feno tenderam a se igualarem. Houve acúmulo de MOS, principalmente na camada de 0-5 cm em todos os SPILP. Porém, o teor de MOS na camada de 0-5 cm da floresta continua sendo superior a todos os demais SPILPs. Santos et al. (2010), avaliando sistemas de rotação de culturas, incluindo trigo, observaram tendência de acúmulo de MOS, em todas as camadas estudadas.

Ao se comparar os anos, em cada camada, foi observada diferença no teor de MOS de todos os SPILP. O teor de MOS aumentou entre os anos de 1998 e 2002. Esta tendência também foi observada por Santos et al. (2006), em SPILP. A manutenção do teor de MOS em valores mais elevados, somente na camada superficial do solo, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob plantio direto, como consequência da ausência de incorporação física destes pelo revolvimento do solo, a qual diminui a taxa de mineralização.

Nos doze anos de estudos, o teor de P do solo (Tabela 3) na camada superficial manteve-se acima do valor considerado crítico ($9,0 \text{ mg kg}^{-1}$) nesse tipo de solo, para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004). O SPD promove alterações nas propriedades químicas do solo, as quais refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas espécies cultivadas (Santos et al., 2006; Loss et al., 2009). Nos anos de 2000, 2002 e 2005, o teor de P do solo nas camadas de 0-5 cm e de 5-10 cm, na maioria dos SPILP (I, II e V), aumentou em relação ao observado em 1998. Resultados concordantes foram observados por Santos et al. (2009b). A rotação de culturas ou sistemas de produção tem importante papel na reciclagem de nutrientes, uma vez que as espécies vegetais diferem entre si no que se refere à quantidade e qualidade de resíduos fornecidos, a eficiência de absorção de íons e a exploração de diferentes camadas de solo pelo sistema radicular (Siqueira Neto et al. 2009).

Em 1998, o sistema II mostrou valor maior de P do que a maioria dos demais sistemas, em todas as camadas avaliadas. Em 2000, não houve diferenças dos valores de P, entre os SPILP. O teor de P do solo, nessa camada, foi maior no sistema V do que nos sistemas II, III e IV, em razão da maior quantidade de fertilizante fosfatado aplicada. A floresta mostrou menor teor de P do que os SPILP, indicando baixa disponibilidade desse nutriente no solo em condições naturais, em razão da natureza caulítica-oxídica do Latossolo Vermelho distrófico. Santos et al. (2006) observaram diferenças entre o teor de P dos SPILP.

Ao se comparar os anos, foi observada, em cada camada, diferença no teor de P entre os SPILP. O teor de P aumentou, nas três primeiras camadas, entre os anos de 1998 e 2005. No ano de 1998, em todos os sistemas, o valor de P na camada de 0-5 cm foi de 2,5 a 5,4 vezes superiores ao da camada de 15-20 cm. No ano de 2000, o valor de P na camada de 0-5 cm foi de 5,1 a 7,7 vezes maiores do que o registrado na camada

de 15-20 cm. No ano de 2002, em todos os sistemas, o valor de P na camada de 0-5 cm foi de 5,4 a 7,5 vezes maior que os da camada de 15-20 cm, e no ano de 2005, em todos os sistemas, o valor de P na camada de 0-5 cm foi de 2,8 a 5,1 vezes maior que o observado na de 15-20 cm. Resultados semelhantes foram relatados em outros estudos com SPD (Santos et al., 2006; Santos et al., 2010). Segundo Siqueira Neto et al. (2009), o acúmulo de P na superfície do solo decorre das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais e da menor fixação de P, em razão ao menor contato deste elemento com os constituintes inorgânicos do solo, uma vez que não há incorporação de resíduos vegetais por meio do revolvimento de solo no plantio direto.

Nesses anos de estudos, o teor de K trocável do solo observado nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Tabelas 4 e 5), na maioria dos sistemas de produção, foi superior ao considerado crítico (80 mg kg^{-1}) ao crescimento e desenvolvimento das culturas (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004). Além disso, o teor de K observado em todos os sistemas de produção, nas camadas de 0-5 e de 10-15 cm, em 2000, 2002 e 2005, foi maior que o obtido em 1998. Resultados comparáveis de teores de K trocável foram verificados por Santos et al. (2009b).

Os valores mais elevados de K, observados nos sistemas I e V foram devidos, provavelmente, à quantidade de K aplicada não extraída, removida ou reciclada pelas culturas. Foi aplicada a mesma quantidade de K em todos os sistemas sem revolvimento de solo, porém, parte desse elemento deve ter sido removida pelo pastejo. Santos et al. (2006) e Ferreira et al. (2009) já haviam observado os mesmos resultados, e os atribuíram à maior remoção desse elemento pelo pastejo. Em 2000, 2002 e 2005, o teor de K não diferiu entre os SPILP. O maior teor de K no sistema V pode estar relacionado à maior quantidade de fertilizante aplicada na adubação de manutenção ou pela decomposição do resíduo vegetal da alfafa que antecedeu as culturas produtoras de grãos, de 1994 a 1997.

Quando se compararam os anos, foi observado, em cada camada, diferenças no teor de K de todos os SPILP. Do mesmo modo que se constatou com o P, também houve acúmulo de K nas camadas superficiais dos diferentes sistemas de produção. Em 1998, o teor de K da camada de 0-5 cm era de 1,9 a 4,1 vezes maior que o da camada de 15-20 cm, enquanto que, em 2000, o teor de K foi 3,2 vezes maior, em 2002, de 2,8 a 4,7 vezes, e em 2005, foi de 1,9 a 2,6 vezes maior. Acúmulos de K, na camada de 0-5 cm, em sistemas de rotação culturas ou SPILP, foram observados por Santos et al. (2006), por Bernardi et al. (2009) e por Santos et al. (2009b). Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que permite que esse elemento se acumule na camada superficial do solo, ainda que esse nutriente seja o mais suscetível à lixiviação. Os resultados observados permitem considerar que pode haver redução na quantidade indicada de fertilizantes à base de P e K em SPILS manejados com SPD.

Tabela 4. Valores médios de matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável e carbono, avaliados após as culturas de verão de 1998, 2000, 2002 e 2005, em duas camadas de solo e em diferentes sistemas de produção com integração lavoura e pecuária*Table 4.* Mean values of soil organic matter, extractable phosphorus, interchangeable potassium and carbon, evaluated after the summer crop season of 1998, 2000, 2002 and 2005, in two layers of soil and in various systems of integrated production and livestock farming

Sistema de produção	Camada (cm)									
	0-5					5-10				
	1998	2000	2002	2005	C.V.	1998	2000	2002	2005	C.V.
--- Matéria orgânica (g kg ⁻³) ---										
Sistema I	30 bcC	34 aBC	44 bA	36 aB	12	25 aC	29 aB	32 aA	27 aBC	10
Sistema II	28 cC	33 aB	44 bA	37 aB	11	24 aB	27 aB	31 aA	27 aB	11
Sistema III	33 bC	37 aBC	45 bA	39 aAB	14	26 aC	30 aAB	33 aA	28 abBC	11
Sistema IV	37 aB	35 aB	44 bA	42 aA	8	25 aB	30 aA	31 aA	31 aA	11
Sistema V	32 bB	35 aB	46 bA	35 aB	9	25 aC	30 aB	34 aA	27 aC	6
Floresta			58 aA	44 aA	27			36 aA	30 aA	15
C.V.	8	10	15			14	8	11	14	12
--- Fósforo (mg kg ⁻³) ---										
Sistema I	17,5 aC	18,4 aBC	30,3abcA	27,8 aAB	38	10,0 aB	12,3 aB	16,5 aB	30,1aA	78
Sistema II	14,9 abB	21,3 aB	34,0 abA	38,0 aA	29	13,1 aB	11,5 aB	21,2 aB	37,9 aA	56
Sistema III	11,0 bB	15,1 aAB	21,2 cA	21,3 aA	35	4,3 aB	8,8 aB	12,2 abB	20,6 aA	63
Sistema IV	14,4 abB	14,8 aB	23,4 bcA	24,9 aA	28	7,9 aB	9,8 aB	12,0 abB	20,6 aA	49
Sistema V	18,6 aB	24,6 aAB	34,5 aA	31,7 abA	34	5,2 aB	13,0 aAB	16,9 aA	20,9 aA	53
Floresta			6,3 dA	3,6 aB	19			3,4 bA	2,4 aA	43
C.V.	31	37	35			34	56	52	57	
--- Potássio (mg kg ⁻³) ---										
Sistema I	142 aC	194 aBC	263 aA	229 aAB	30	84 abB	116 aB	165 aA	167 aA	29
Sistema II	97 bC	174 aB	219 aA	202 aAB	22	68 bcC	109 aB	137 aAB	169 aA	28
Sistema III	58 cD	157 aB	208 aA	93 aC	18	23 dC	98 aA	119 aA	67 aB	34
Sistema IV	82 bcC	158 aAB	206 aA	130 aBC	31	50 cB	86 aA	113 aA	98 aA	35
Sistema V	150 aC	275 aAB	290 aA	228 aB	19	102 aB	178 aA	214 aA	200 aA	24
Floresta			106 aA	117 aA	33			73 aA	67 aA	15
C.V.	27	28	21			24	29	35	30	31

1998 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de inverno: ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão; e V: Trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula por ano na vertical e mesma letra maiúscula por profundidade e sistemas de produção ILP, na horizontal, não apresentam diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A manutenção de teores de MOS mais elevados sob SPD resulta na não mobilização dele, em que os resíduos vegetais permanecem sobre a superfície, sujeitos à uma lenta decomposição e, em consequência, acumulação (Godsey et al., 2007; Jantalia et al., 2008; Boddey et al., 2010). Assim, pode-se inferir que os sistemas estudados atingiram um nível de estabilidade da MOS de valores semelhantes aos da floresta. De acordo com Jantalia et al.

(2008), a ocupação do solo por atividades com reduzida intensidade de preparo, ou mesmo sem preparo, indica que pode ocorrer recuperação e até mesmo acumulação de MOS em valores superiores aos da vegetação nativa. Os SPILP favorecem a estratégia econômica e ambientalmente sustentável de se adicionar N, utilizando-se leguminosas no sistema, e, conseqüentemente, C no solo (Fontaneli & Gassen, 2009).

Tabela 5. Valores médios de matéria orgânica, fósforo extraível, potássio trocável e carbono, avaliados após as culturas de verão de 1998, 2000, 2002 e 2005, em duas camadas de solo e em diferentes sistemas de produção com integração lavoura e pecuária

Table 5. Mean values of soil organic matter, extractable phosphorus, interchangeable potassium and carbon, evaluated after the summer crop season of 1998, 2000, 2002 and 2005, in two layers of soil and in various systems of integrated production and livestock farming

Sistema de produção	Camada (cm)									
	10-15					15-25				
	1998	2000	2002	2005	C.V.	1998	2000	2002	2005	C.V.
— Matéria orgânica (g kg ⁻³) —										
Sistema I	23 bcB	25 aB	28 aA	23 aB	9	23 bB	24 aB	28 aA	22 aB	7
Sistema II	22 cB	24 aB	28 aA	23 aB	7	23 bB	24 aB	27 aA	22 aB	9
Sistema III	24 abB	25 aB	29 aA	24 aB	8	25 aAB	25 aAB	27 aA	23 aB	11
Sistema IV	23 bcB	25 aB	28 aA	24 aB	7	23a bBC	25 aB	27 aA	22 aC	6
Sistema V	25 aBC	27 aB	31 aA	25 aC	5	24 abC	27 aB	30 aA	24 aC	6
Floresta			30 aA	25 aA	21			26 aA	25 aA	17
C.V.	5	10	14	13		7	10	11	13	
— Fósforo (mg kg ⁻³) —										
Sistema I	6,8 aA	5,7 aA	6,3 aA	13,6 aA	98	5,6 abAB	3,5 aB	4,5 aAB	8,0 aA	61
Sistema II	7,8 aB	5,4 aB	6,9 aB	14,0 aA	59	5,9 aA	3,9 aA	5,0 aA	7,4 aA	63
Sistema III	2,9 aB	4,9 aB	6,5 aAB	11,2 abA	80	3,0 abB	3,3 aB	4,5 aB	7,6 aA	58
Sistema IV	4,9 aB	4,3 aB	5,3 aB	12,2 abA	82	2,7 bB	2,9 aB	4,3 aAB	6,1 aA	45
Sistema V	3,9 aB	4,5 aB	7,1 aAB	10,7 abA	53	3,4 abB	3,2 aB	4,6 aB	7,0 aA	34
Floresta			2,6 aA	2,2 bA	42			2,0 bA	2,1 bA	22
C.V.	59	58	49			79	62	48	34	51
— Potássio (mg kg ⁻³) —										
Sistema I	59 aC	74 aBC	110 aAB	131 aA	37	53 aB	51aB	77 aAB	108 aA	46
Sistema II	52 aC	74 aBC	90 aAB	126 aA	38	49 aB	55 aB	65 aAB	92 aA	46
Sistema III	15 bB	58 aA	68 aA	48 aA	36	14 bA	50 abA	44 aA	49 aA	58
Sistema IV	45 aA	53 aA	73 aA	72 aA	41	35 abA	42 aA	54 aA	51 aA	43
Sistema V	63 aB	130 aA	148 aA	145 aA	31	46 aB	85 aA	103 aA	93 aA	32
Floresta			59 aA	44 aA				38 aA	36 aA	31
C.V.	33	40	30	41		48	47	35	48	

1998 - I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: pastagem perene de inverno; ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão; e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula por ano na vertical e mesma letra maiúscula por profundidade e sistemas de produção ILP, na horizontal, não apresentam diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

CONCLUSÕES

Os teores de Ca, de matéria orgânica, de P e de K do solo são afetados positivamente pelos sistemas de produção com integração de lavoura e pecuária;

Os teores de matéria orgânica, de P, de K e de Al do solo aumentaram entre os anos de 1998 e 2002, enquanto os valores de pH, de Ca e de Mg diminuíram, indicando acidificação na camada superficial do solo;

Nos primeiros quatro anos, os sistemas com leguminosas perenes são mais eficientes no acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo. Nos anos seguintes, a manutenção de teores de matéria orgânica é semelhante ao das culturas anuais (aveia branca, milho, soja e trigo).

LITERATURA CITADA

- Balbinot Jr., A.A.; Moraes, A.; Veiga, M.; Pelissari, A. Dickow, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000106>
- Bernardi, A.C.C.; Oliveira Jr., J.P.; Leandro, W.M.; Mesquita, T.G.S.; Freitas, P.L.; Carvalho, M.C.S. Doses e formas de aplicação de adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, n.2, p.158-167, 2009.
- Boddey, R.M.; Jantália, C.A.; Conceição, P.C.; Zanatta, J.A.; Bayer, C.; Mielniczuck, J.; Dieckow, J.; Santos, H.P. dos; Denardin, J.E.; Aita, C.; Giacomini, S.J.; Alves, B.J.R.;

- Urquiaga, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, v.16, n.2, p.784-795, 2010. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x>
- Calegari, A.; Hargrove, W.L.; Rheinheimer, D.S.; Ralisch, R.; Tessier, D.; Tourdonnet, S.; Guimarães, M.F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management. *Agronomy Journal*, v.100, n.4, p.1013-1019, 2008. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0121>
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: CQFS/SBCS/NRS, 2004. 400p.
- Ernani, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages: P.R. Ernani, 2008. 230p.
- Ferreira, E.V. de O.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C. de F.; Costa, S.E.V.G. de A.; Cao, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidade de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1675-1684, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600015>
- Fontaneli, R.S.; Gassen, D. Integração lavoura-pecuária: potencial das forrageiras para adubação verde. *Revista Plantio Direto*, v.19, n.110, p.26-34, 2009.
- Godsey, C.B.; Pierzynski, G.M.; Mengel, D.B.; Lamond, R.E. Changes in soil pH, organic carbon, and extractable aluminum from crop rotation and tillage. *Soil Science Society of America Journal*, v.71, n.5, p.1038-1044, 2007. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2006.0170>
- Jantália, C.P.; Santos, H. P. dos; Urquiaga, S.; Boddey, R.M.; Alves, B.J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.2, p.161-173, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-008-9178-y>
- Lange, A.; Carvalho, J.L.N.; Damin, V.; Cruz, J.C.; Marques, J.J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. *Ciência Rural*, v.36, n.2, p.460-467, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200016>
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Schultz, N.; Anjos, L.H.C.; Silva, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, v.39, n.4, p.1077-1082, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-847820090005000036>
- Macedo, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovação tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.especial, p.133-146, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>
- Potes, M. da L.; Dick, D.P.; Dalmolin, R.S.D.; Knicker, H.; Rosa, A.S. da. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.1, p.23-32, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100003>
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária no rendimento de grãos de trigo, sob plantio direto. In: Embrapa Trigo. Trigo: resultados de pesquisa – safra 2008. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009a. p.75-81. (Documentos, 87).
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T.; Tomm, G.O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, n.4, p.719-727, 2009b. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.925>
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. Efeito de sistemas de produção com cereais de inverno sobre a fertilidade química do solo, sob plantio direto. In: Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. (Eds.). Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no Sul do Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p.117-139.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O.; Denardin, J.E. Atributos físicos e químicos de solo em sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.12, n.1-2, p.73-81, 2006.
- SAS Institute. SAS system for Microsoft Windows version 8.2. Cary: SAS, 2004.
- Siqueira Neto, M.; Piccolo, M. de C.; Scopel, E.; Costa Jr., C. da; Cerri, C.C.; Bernoux, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, n.4, p.709-717, 2009. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.792>
- Spera, S.T. Atributos físicos e químicos de um latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas. 2009. 228p. Tese Doutorado.
- Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C. do; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. 2.ed. rev. e ampl. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5.)
- Vieira, F.C.B.; Bayer, C.; Zanatta, J.; Ernani, P.R. Organic matter kept Al toxicity in a subtropical no-tillage soil under long-term (21-year) legume-based crop systems and N fertilization. *Australian Journal of Soil Research*, v.47, n.7, p.707-714, 2009. <http://dx.doi.org/10.1071/SR08273>