

Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto

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

Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rod. BR 285, km 174, Cx. Postal 451, 99001-970, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br

RESUMO. O objetivo deste estudo foi avaliar a fertilidade do solo no período de oito anos (1995 a 2003), num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Coxilha, Estado do Rio Grande do Sul. Empregou-se o delineamento de blocos casualizados com sete tratamentos e quatro repetições, sendo seis sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP): I) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; II) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; III) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; IV) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto; V) trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; e VI) trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto, e um fragmento de floresta subtropical próximo ao experimento. Após oito anos, verificou-se acidificação da camada 0-5 cm. Nas camadas do solo de 0-5 e de 5-10 cm, aumentaram os teores de matéria orgânica, P e K, enquanto os valores de Al e de pH diminuíram. Os teores de matéria orgânica, P, K e Ca + Mg decresceram em profundidade do solo. Os sistemas de manejo estudados proporcionaram maior quantidade de C acumulado no solo do que a floresta subtropical.

Palavras-chave: matéria orgânica, fósforo, potássio, integração lavoura-pecuária, sistemas mistos.

ABSTRACT. Effect of crop-livestock production systems with annual winter and summer pastures on soil fertility under no-tillage. The objective of this study, which employed a randomized complete block design, with four replicates, was to evaluate, after eight years (1995 to 2003), the soil fertility of a typical dystrophic red latosol (typic hapludox) located in Coxilha, Rio Grande do Sul State, Brazil, in six crop-livestock production systems (ILP): I) wheat/soybean, black oats + common vetch pasture/corn; II) wheat/soybean, black oat + common vetch + ryegrass pasture/corn; III) wheat/soybean, black oat + common vetch pasture/pearl millet pasture; IV) wheat/soybean, black oat + common vetch + ryegrass pasture/pearl millet pasture; V) wheat/soybean, oats/soybean, and black oat + common vetch pasture/pearl millet pasture; and VI) wheat/soybean, oats/soybean, and black oat + common vetch + ryegrass pasture/pearl millet pasture). Soil core samples were also collected in a fragment of subtropical forest adjacent to the experiment. After eight years, acidification in the top soil layer was observed. The exchangeable Mg and K and extractable P were affected by mixed-crop production models. The soil layers of 0-5 and 5-10 cm presented higher values of soil organic matter, P, and K. The reverse occurred with values of pH and exchangeable Al. The levels of soil organic matter, P, K and Ca + Mg decreased with soil depth. The crop systems studied presented higher values of C in the soil than the subtropical forest.

Key words: organic matter, phosphorus, potassium, lay farming, mixed systems.

Introdução

De acordo com Fontaneli et al. (2006), a pecuária é, frequentemente, percebida como fator complicador para a agricultura, principalmente em sistema plantio direto, por causa da compactação gerada pela presença dos animais, pelo consumo da matéria verde que seria transformada na palha demandada para cobertura do solo no sistema e pela necessidade de mão-de-obra especializada. Ambrosi

et al. (2001) observaram que a engorda de animais durante o período de inverno foi uma alternativa para integração com a lavoura de trigo. Neste caso, as atividades da propriedade se complementaram, sem competir entre si. Tal constatação, segundo Fontaneli et al. (2006), já está ocorrendo no Planalto Médio e nas Missões do Estado do Rio Grande do Sul, desde a década de 70, tanto para terminação de bovinos de corte como para alimentação de bovinos leiteiros.

No Brasil, ainda são poucos os estudos de longa duração, em sistema de produção de grãos com pastagens, sobre os efeitos na fertilidade do solo. Nos trabalhos, geralmente não se verifica a remoção do efeito do ano agrícola, o que requer que todas as espécies contempladas nos modelos de produção estejam obrigatoriamente presentes todos os anos (SANTOS; REIS, 2001). De acordo com Santos et al. (2001), a combinação de pastagens perenes e seguidas de culturas anuais para produção de grãos é mais eficiente na manutenção de estrutura físico-química do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas, pois as espécies com sistemas radicais e diferentes morfologias promovem maior ciclagem de nutrientes e favorecem a supressão de doenças. Além disso, as leguminosas fixam nitrogênio do ar. São raros, no Sul do Brasil, trabalhos avaliando os efeitos de sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão nas propriedades químicas do solo.

Os trabalhos com sistemas de produção de grãos desenvolvidos por Bayer e Bertol (1999), De Maria et al. (1999), Amado et al. (2001) e Santos et al. (2001), que avaliam a qualidade de solo em sistema plantio direto, têm evidenciado acúmulos de matéria orgânica, carbono, Ca, Mg, P e K na camada superficial (0-5 cm), em relação às camadas mais profundas. Nesses estudos, foram obtidas ainda informações sobre diminuição do pH e aumento do Al tóxico para as plantas.

O acúmulo de matéria orgânica e de carbono na camada superficial do solo, observado em sistema plantio direto, deve ser comparado, sempre que possível, com a situação original do solo, por exemplo, com a mata subtropical ou o campo nativo, nas condições edafoclimáticas do Sul do Brasil

(SILVA et al., 2006). Dessa maneira, torna-se possível inferir o comportamento dos solos quanto à capacidade de armazenar ou perder C nas mesmas condições (CORAZZA et al., 1999; MARCOLAN; ANGHINONI, 2006), as quais, por sua vez, estão relacionadas à emissão de gases e ao consequente efeito estufa.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de modelos de sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão sobre a fertilidade do solo, após oito anos de cultivo.

Material e métodos

O ensaio foi conduzido na Embrapa Trigo, no município de Coxilha, Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1995 a 2003, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2002).

Os tratamentos consistiram em seis sistemas de produção integração lavoura-pecuária (SPILP): I) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; II) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; III) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; IV) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; V) trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e VI) trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho (Tabela 1). O delineamento experimental foi em blocos, completos ao acaso, com quatro repetições. A área das parcelas apresentava 20 m de comprimento por 10 m de largura, e as culturas foram estabelecidas em sistema plantio direto.

Tabela 1. Sistemas de produção envolvendo culturas produtoras de grãos e pastagens anuais de inverno e de verão, em sistema plantio direto. Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul.

Sist. de prod.	Ano										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
I	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M	Ap+E/M T/S	T/S Ap+E/M
II	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M	Ap+E+Az/M T/S	T/S Ap+E+Az/M
III	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi	Ap+E/Mi T/S	T/S Ap+E/Mi
IV	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi	Ap+E+Az/Mi T/S	T/S Ap+E+Az/Mi
V	T/S AbS Ap+E/Mi	AbS Ap+E/Mi T/S	Ap+E/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E/Mi	AbS Ap+E/Mi T/S	Ap+E/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E/Mi	AbS Ap+E/Mi T/S	Ap+E/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E/Mi	AbS Ap+E/Mi T/S
VI	T/S AbS Ap+E+Az/Mi	AbS Ap+E+Az/Mi T/S	Ap+E+Az/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E+Az/Mi	AbS Ap+E+Az/Mi T/S	Ap+E+Az/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E+Az/Mi	AbS Ap+E+Az/Mi T/S	Ap+E+Az/Mi T/S AbS	T/S AbS Ap+E+Az/Mi	AbS Ap+E+Az/Mi T/S

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Az: azevém; E: ervilhaca; M: milho; Mi: milho; S: soja; e T: trigo. Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; e FST floresta subtropical.

Em abril de 1995, antecedendo a semeadura das culturas de inverno (aveia branca, aveia preta, azevém, ervilhaca e trigo), para instalação do experimento, foi coletado solo com pá-de-corte, na profundidade de 0-20 cm. As amostras do solo (duas subamostras por parcela) foram separadas em quatro profundidades: de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm (Tabela 2). Quatro anos antes da instalação do experimento, o solo foi submetido à correção de acidez com 6,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 90%), visando a elevar o pH em água a 6,0.

Tabela 2. Valores de pH em água, Al, Ca + Mg, matéria orgânica, P e K, em quatro camadas de solo, em abril de 1995, antes da instalação do experimento.

Sist. de prod.	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
	----- pH (1:1) -----			
I	5,57	5,59	5,40	5,09
II	5,64	5,72	5,52	5,27
III	5,63	5,67	5,42	5,17
IV	5,57	5,71	5,64	5,23
V	5,59	5,65	5,62	5,22
VI	5,53	5,61	5,46	5,13
	----- Al (mmol, dm ⁻³) -----			
I	0,10	0,13	0,44	1,10
II	0,13	0,14	0,35	0,75
III	0,10	0,11	0,29	0,92
IV	0,07	0,08	0,16	0,78
V	0,09	0,11	0,11	0,73
VI	0,10	0,11	0,27	0,95
	----- Ca + Mg (mmol, dm ⁻³) -----			
I	94	91	76	57
II	95	104	81	65
III	94	90	80	60
IV	90	94	83	63
V	94	93	84	67
VI	90	92	81	60
	----- Matéria orgânica (g dm ⁻³) -----			
I	41	38	34	32
II	41	37	35	32
III	40	34	35	30
IV	39	35	32	31
V	41	35	33	32
VI	42	36	33	33
	----- P (mg kg ⁻¹) -----			
I	14,1	11,9	7,3	4,4
II	16,5	10,8	6,1	3,8
III	14,8	10,3	5,7	4,9
IV	11,7	9,1	6,4	3,1
V	13,9	10,2	6,9	3,7
VI	12,1	10,8	5,7	3,4
	----- K (mg kg ⁻¹) -----			
I	158	87	50	37
II	115	73	50	31
III	177	76	53	39
IV	155	66	44	33
V	175	82	53	37
VI	161	76	52	38

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

O calcário foi aplicado em duas vezes: metade antes da aração (arado de discos) e metade antecedendo a gradagem (grade niveladora de discos). Foram usados,

de 1995 a 2005, como adubação de manutenção para as culturas de inverno, de 200 a 300 kg ha⁻¹ das fórmulas 5-20-20 e 5-25-25; para milho, de 200 a 250 kg ha⁻¹ da fórmula 5-25-25; e para soja, de 200 a 300 kg ha⁻¹ das fórmulas 0-20-20 e 0-25-25. Como adubação de cobertura do solo, para as culturas de inverno e o milho, foi usado uréia.

Em abril de 2003, após a colheita da última safra de verão (milho e soja), foram coletadas amostras de solo compostas (duas subamostras por parcela), nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Num capão de floresta subtropical situado próximo ao experimento, foram também coletadas amostras, nas mesmas profundidades. As análises químicas (pH em água, P, K, matéria orgânica, Al e Ca + Mg) seguiram o método descrito por Tedesco et al. (1995). O carbono acumulado, em cada camada, foi determinado pela expressão: $C_{\text{acumulado}} = C \cdot Ds \cdot L$, em que $C_{\text{acumulado}}$ corresponde ao carbono acumulado em Mg ha⁻¹; C é o conteúdo de carbono em g kg⁻¹ de solo; Ds é a densidade do solo em g cm⁻³; e L é a espessura da camada em centímetros (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Os sistemas de produção integração lavoura-pecuária (SPILP) foram comparados entre si para cada atributo de fertilidade do solo, em cada profundidade de amostragem. Também foram comparadas entre si as profundidades de cada SPILP. Todas as comparações foram realizadas por meio de contrastes com grau de liberdade e sua significância foi dada pelo teste F.

Resultados e discussão

O pH do solo (Tabelas 2 e 3), em todos os sistemas de produção integração lavoura-pecuária (SPILP), em 2003, apresentou valores menores, em comparação ao determinado antes da instalação do experimento, após oito anos de cultivo, em 1995. Como o calcário foi aplicado quatro anos antes da instalação do experimento, constata-se que houve acidificação, principalmente na camada superficial do solo. Em todos os SPILP, houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada, em relação ao início do estabelecimento deste experimento. A acidificação do solo verificada nas primeiras camadas reflete um longo período (de 1995 a 2003) em que o solo foi cultivado sem aplicação de calcário. Em todos os SPILP, houve acidificação da camada 0-5 cm, necessitando de aplicação de calcário após 13 anos, para favorecer as condições ideais para o cultivo de leguminosas, ou seja, pH próximo de 5,5 (SOCIEDADE..., 2004). Na camada de 15-20 cm o pH do solo em 2003 foi maior do que os valores verificados antes da instalação do experimento,

provavelmente decorrente movimentação de bases trocáveis das camadas superiores para as inferiores.

A acidificação da camada superficial do solo, porém, aparentemente não afetou a produtividade das culturas, pois a soja apresentou 3.493 kg ha⁻¹ em 2003 (SANTOS et al., 2005). Assim, apesar da acidez, a produtividade média da soja nas parcelas encontrou-se acima da média da região (2.300 kg ha⁻¹), e resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2003; 2006) e Ciotta et al. (2002). Isso pode ser explicado pelo acúmulo de MOS em SPD, que aumenta a força iônica da solução de solo na camada superficial (SALET, et al., 1999).

A dissolução e a nitrificação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos podem ter contribuído para acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se consideraram longos períodos de cultivo sem aplicação de calcário ou quando elevada quantidade de fertilizantes (MAP e DAP) foram aplicadas (ERNANI et al., 2001). Não houve diferenças entre os SPILP, para o valor de pH do solo, em todas as camadas estudadas. Neste estudo, as avaliações foram feitas seguindo-se camadas, uma vez que uma das

principais características do SPD – a distribuição dos atributos químicos – ocorre em gradientes. Nos SPILP, foram verificadas diferenças no valor de pH de solo entre as profundidades de amostragem estudadas.

O valor de pH dos SPILP foi maior na camada 10-15 cm do que na 0-5 cm. Santos et al. (2006), estudando quatro sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, num outro experimento em Latossolo Vermelho distrófico em Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul, ambos em plantio direto (PD), verificaram valores de pH maiores na camada 0-5 cm do que na 10-15 cm. No estudo de Santos et al. (2006), o solo da floresta subtropical apresentou redução contínua do valor de pH até a camada 15-20 cm, em função da natureza ácida do Latossolo.

Em todas as camadas e SPILP, o valor de Al trocável de solo (Tabela 3) foi mais elevado que o verificado na época da instalação do experimento, em 1995 (Tabela 2). O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Não se constataram diferenças do Al entre os SPILP nas camadas de amostragem estudadas.

Tabela 3. Valores de pH em água, Al, Ca e Mg trocáveis, avaliados após oito anos de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), em sistema plantio direto, em 2003, e análise de contrastes entre as diferentes camadas de solo.

Sist. de Prod.	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5	0-5	0-5	5-10	5-10	10-15
	x	x	x	x	5-10	10-15	15-20	10-15	15-20	15-20
----- pH (1:1) -----										
					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	5,17	5,29	5,45	5,35	ns	**	ns	ns	ns	ns
II	5,10	5,24	5,40	5,28	ns	**	*	*	ns	ns
III	5,11	5,21	5,48	5,48	ns	**	**	*	*	ns
IV	5,13	5,28	5,46	5,46	**	**	**	**	**	ns
V	5,16	5,32	5,48	5,46	*	**	**	*	ns	ns
VI	5,10	5,19	5,35	5,31	ns	*	*	ns	ns	ns
Floresta	5,35	5,15	5,00	4,93	ns	*	*	ns	ns	ns
----- Al (mmol _c dm ⁻³) -----										
					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	5,08	6,23	5,99	7,29	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	7,14	6,64	5,01	7,89	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	7,18	7,11	5,11	5,50	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IV	7,23	5,50	3,54	3,60	ns	**	**	*	*	ns
V	7,40	6,12	4,73	5,25	ns	ns	ns	ns	ns	ns
VI	7,61	7,69	6,48	7,93	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Floresta	3,00	6,35	10,55	11,78	ns	ns	*	ns	ns	ns
----- Ca (mmol _c dm ⁻³) -----										
					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	46	48	46	41	ns	ns	ns	ns	*	ns
II	44	46	48	40	ns	ns	ns	ns	*	**
III	40	41	46	45	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
IV	43	47	48	45	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
V	42	46	47	44	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
VI	43	44	44	38	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
Floresta	66	44	30	24	*	**	**	ns	*	ns
----- Mg (mmol _c dm ⁻³) -----										
					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	22	23	23	23	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	21	23	24	23	ns	ns	ns	ns	ns	ns
III	23	22	25	26	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IV	23	24	25	26	ns	ns	*	ns	ns	ns
V	22	23	24	25	ns	ns	*	ns	ns	ns
VI	23	22	23	22	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Floresta	25	19	14	12	**	**	**	*	**	ns

ns = não-significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho; e floresta: floresta subtropical.

Santos et al. (2006) verificaram mesma condição, em estudo semelhante, para os valores de Al. Na camada 0-5 cm, os SPILP mostraram valor de Al maior, em comparação com a FST. Esses valores de Al estão relacionados diretamente aos valores de pH, ou seja, somente no sistema IV e na FST foi verificada diferença no nível de Al do solo entre as camadas de solo. Franchini et al. (2000), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, em Latossolo Roxo distrófico muito argiloso, em Campo Mourão, Estado do Paraná, observaram maior teor de Al, porém na camada 10-20 cm em relação a 0-10 cm.

Os teores de Ca + Mg trocáveis de solo (Tabela 3), em todas as camadas e em SPILP, foram maiores que os considerados críticos para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (SOCIEDADE..., 2004). Isso pode ser confirmado pelo desempenho das espécies cultivadas, tanto no inverno como no verão, de 1995 a 2000 (SANTOS et al., 2005). A baixa produtividade de algumas espécies, principalmente de inverno, ocorreu em consequência de doenças que afetaram a aveia branca e o trigo e não foram controladas adequadamente, por efeito climático (precipitação pluvial). O teor de Ca + Mg, nas camadas superiores do solo, em 2003, foi menor que o observado na instalação do experimento, em 1995 (Tabela 2). Na ocasião, a calagem forneceu Ca e Mg em quantidade adequada para atender ao nível crítico exigido pelas espécies vegetais dos SPILP (SOCIEDADE, 2004). Não houve diferença para os teores de Ca e Mg do solo, entre todos os SPILP nas camadas estudadas, conforme já havia sido relatado por Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2006).

Em todos os SPILP e camadas estudadas, não foram observadas diferenças significativas para os valores de pH, Al, Ca e Mg. Isso pode ser reflexo da uniformidade da aplicação do calcário, do residual dele e do efeito de correção da fertilidade promovida pelo tempo de sistema plantio direto (SPD) da área (movimento de bases e correção da acidez em profundidade). Porém a FST apresentou maior valor de Ca no solo do que os dos SPILP, para a camada 0-5 cm; para as camadas inferiores, ocorreu o inverso. Esperava-se que, na primeira camada, a FST mostrasse valores de Ca e Mg trocáveis menores que os SPILP, pela não-correção da acidez. Entretanto, os maiores valores de Ca e Mg trocáveis, na primeira camada da FST, podem estar relacionados ao acúmulo de bases oriundas da sedimentação de solo carreado por enxurrada de áreas agrícolas contíguas (HERNANI et al., 1999). Para os SPILP, não houve diferença, entre todas as camadas, quanto ao teor de Ca e Mg de solo, pela distribuição uniforme do

calcário aplicado. Franchini et al. (2000), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, também não encontraram diferenças entre os tratamentos para os valores de Mg. Nos sistemas IV e V do presente trabalho, o teor de Mg do solo foi maior na camada 15-20 cm do que na 0-5 cm. Provavelmente, houve percolação desse elemento químico da camada superficial para a camada mais profunda.

O nível de matéria orgânica de solo (MOS), em todas as camadas e em SPILP, em 2003 (Tabela 4), foi maior que o encontrado na época da instalação do experimento, em 1995 (Tabela 2). Nos SPILP e na FST, em todas as camadas amostradas, não foram constatadas diferenças entre os níveis de MOS. Isso pode ser atribuído à quantidade de resíduos vegetais fornecidos pelos SPILP, mesmo naquelas parcelas que haviam sido pastejadas no verão (Sistemas III, IV, V e VI). Verificou-se, em todos os SPILP acúmulo de MOS nas camadas próximas à superfície do solo, indicando que o SPD contribuiu para aumento do nível de MOS e, conseqüentemente, da fertilidade do solo, na camada com maior concentração de raízes. Nesta avaliação, o nível de MOS nos SPILP não foi diferente estatisticamente da FST, apontando a eficiência dos SPILP em acumular C, comparáveis à floresta, conforme já haviam constatado Bayer et al. (2000), Ciotta et al. (2002) e Sisti et al. (2004). De acordo com Salet et al. (1999), o acúmulo de MOS em SPD aumenta a força iônica da solução de solo na camada superficial. Isso explica, em parte, a não-ocorrência de toxicidade de Al, em razão da menor atividade iônica do Al.

Foram observadas diferenças no nível de MOS, em todas as profundidades de solo amostradas nos SPILP; o nível de MOS foi decrescente, da camada superficial para as camadas mais profundas. A manutenção do nível de MOS em valores mais elevados, apenas na camada superficial do solo, decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo manejado em SPD, resultante da ausência da incorporação física destes por meio do revolvimento, a qual diminui a taxa de mineralização (SANTOS et al., 2003). Deve ser considerado que, nas espécies destinadas à produção de grãos e nas forrageiras, foram aplicadas doses indicadas de nitrogênio como adubação de manutenção e de cobertura, exceto para soja, que foi inoculada com rizóbio específico.

O teor de P extraível do solo, nas camadas superficiais (Tabela 4), em todos os SPILP, foi superior ao valor considerado crítico ($9,0 \text{ mg kg}^{-1}$) nesta classe de textura para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (SOCIEDADE..., 2004).

Tabela 4. Teores de matéria orgânica, P extraível e K trocável, avaliados após oito anos de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), em plantio direto, em 2003, e análise de contrastes entre as diferentes camadas de solo.

Sist. de Prod.	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5 x 5-10	0-5 x 10-15	0-5 x 15-20	5-10 x 10-15	5-10 x 15-20	10-15 x 15-20
----- Matéria orgânica (g dm ⁻³) -----					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	48	40	35	33	**	**	**	**	**	ns
II	48	39	35	33	**	**	**	ns	**	ns
III	50	37	34	32	**	**	**	ns	*	ns
IV	52	37	34	33	**	**	**	ns	Ns	ns
V	49	37	35	32	**	**	**	ns	*	ns
VI	52	39	36	33	**	**	**	ns	*	ns
FST	55	41	36	32	*	**	**	ns	Ns	ns
----- P (mg kg ⁻¹) -----					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	33,2	20,4	12,0	5,7	*	**	**	ns	*	ns
II	27,8	20,9	12,0	5,8	ns	**	**	ns	**	ns
III	36,8	17,7	9,4	6,3	**	**	**	ns	*	ns
IV	37,7	18,9	8,2	5,4	**	**	**	**	**	ns
V	34,7	18,7	8,0	5,8	*	**	**	ns	ns	ns
VI	32,8	16,5	7,8	7,4	**	**	**	*	*	ns
Floresta	3,3	1,7	2,7	1,5	ns	ns	ns	ns	ns	ns
----- K (mg kg ⁻¹) -----					----- Contraste entre profundidades (P: F) -----					
I	201	128	90	62	**	**	**	*	**	ns
II	179	129	85	61	**	**	**	**	**	ns
III	139	78	55	41	**	**	**	ns	*	ns
IV	155	93	79	57	*	*	**	ns	ns	ns
V	184	102	62	48	**	**	**	ns	*	ns
VI	170	96	62	44	**	**	**	*	**	ns
FST	119	72	43	31	**	**	**	**	**	ns

ns = não-significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%. Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milho; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem e milho; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + avevém/pastagem de milho; e FST: floresta subtropical.

Isso pode ser confirmado pelo desempenho das espécies cultivadas, tanto no inverno como no verão, de 1995 a 2000 (SANTOS et al., 2005). O teor de P extraível, nas quatro camadas e em todos os SPILP, foi mais elevado que o teor avaliado na instalação do experimento, em 1995 (Tabela 2).

O manejo de solo em SPD provoca alterações nas propriedades químicas de solo, tendo reflexo na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas espécies (RHEINHEIMER et al., 2000; FERNANDES et al., 2007; COSTA et al., 2007; FREIRIA et al., 2008). A rotação de culturas tem importante papel na ciclagem de nutrientes, uma vez que as espécies vegetais diferem entre si no que se refere à quantidade e à qualidade de resíduos remanescentes da colheita, à eficiência de absorção de íons e à exploração de diferentes profundidades de solo pelo sistema radical. Como se trata de SPD, a quantidade de adubo fosfatado aplicada na adubação de manutenção, de 1995 a 2003, pode ter sido maior que a necessidade de cada cultura; assim, ao ser aplicado, o P acumulou, em parte, na camada superficial. Houve diferença entre o valor de P extraível dos SPILP em todas as camadas estudadas, e o da FST. O teor de P extraível dos SPILP foi superior ao da FST nas camadas superficiais (efeito da adubação das culturas e baixa mobilidade do elemento no solo). Os SPILP diferiram quanto ao teor de P extraível, em todas as

profundidades de amostragem, decrescendo da camada 0-5 cm para a 15-20 cm (efeito da baixa mobilidade de P no solo). A concentração mais elevada de P, nos SPILP, em comparação à da floresta, reflete a baixa ocorrência do P nesses solos em condições naturais, pela forte adsorção e pouca disponibilidade do nutriente na rocha matriz, além da baixa solubilidade desse ânion (HERNANI et al., 1999). Resultados semelhantes para teor de P extraível foram obtidos por Matowo et al. (1999), Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2001; 2003; 2006), em sistemas plantio direto, de seis a dez anos.

O acúmulo de P extraível próximo à superfície do solo decorre de aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais e da menor fixação de P, em razão do menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos do solo, pois não há incorporação de resíduos vegetais por meio do revolvimento de solo no SPD.

O teor de K trocável de solo, encontrado na camada 0-5 cm (Tabela 4) de todos os SPILP e na floresta, foi superior ao valor considerado crítico (60 mg kg⁻¹) para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (SOCIEDADE..., 2004) e manteve-se acima do teor encontrado na época da instalação do experimento, em 1995 (Tabela 2).

Houve diferenças entre os sistemas para o teor de K trocável. O sistema I apresentou maior teor de K trocável do que o sistema III, em todas as camadas analisadas. A principal diferença entre esses sistemas foi a cultura de milho (sistema I) ou milheto (sistema III). É possível que a cultura de milheto, que foi pastejada por bovinos mestiços, tenha extraído mais K do solo que a cultura de milho. A floresta apresentou teor de K trocável relativamente elevado, principalmente nas duas primeiras camadas avaliadas. Houve diferenças no teor de K trocável entre todas as profundidades de solo amostradas, em todos os SPILP. A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo de K trocável na camada próxima à superfície nos SPILP. Acúmulo semelhante de K trocável, na camada superficial, foi verificado por De Maria et al. (1999), Santos e Tomm (1999; 2003) e Santos et al. (2001). Como ocorreu com o Ca + Mg trocáveis, o valor maior de K trocável, nas duas primeiras camadas da floresta, pode estar relacionado ao acúmulo de bases trocáveis pelo arraste desses elementos, de áreas adjacentes, pela enxurrada. Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura; além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas superficiais do solo.

O nível de C acumulado na camada arável (Tabela 5) não diferiu significativamente entre os SPILP, em todas as camadas estudadas. Segundo Corazza et al. (1999), existe a possibilidade de sistemas adequados com pastagens e lavoura, em sistema plantio direto, conservarem e aumentarem a quantidade de C acumulado, contribuindo, assim, para o seqüestro do C atmosférico no solo, ao contrário dos sistemas que utilizam preparo de solo convencional. De acordo com D'Andréia et al. (2004), modelos de produção de grãos que envolvem lavoura + pastagem, em SPD, foram promissores para aumentar os estoques de C do solo, em comparação ao cerrado nativo e à lavoura em preparo convencional de solo.

Tabela 5. Valores de carbono acumulado na camada arável (0 a 20 cm) dos sistemas de rotação de culturas e da floresta subtropical, avaliados após oito anos de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), em plantio direto, em 2003.

Sistema	I	II	III	IV	V	VI	FST
C acumulado (Mg ha ⁻¹)	116,8a	115,6a	113,0a	114,3a	110,4a	116,8a	102,7b

As médias seguidas de mesma letra não diferem em nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey. Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho; sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto; sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto; e FST: floresta subtropical.

Observou-se, em todos os SPILP, que o C acumulado no solo, em SPD, foi maior que o do solo da FST. Nos estudos de Sisti et al. (2004) e Marcolan e Anghinoni (2006), a ocupação do solo por atividade com reduzida intensidade de preparo, ou mesmo sem preparo, favorece a recuperação e até o acúmulo de C no solo, que é superior ao observado em solo sob vegetação nativa. Marcolan e Anghinoni (2006), porém, destacam que a maior parte do C da atmosfera, nos sistemas florestais, pode estar armazenada na vegetação, que sequestra de modo permanente o C; nas atividades agropastoris, a ciclagem de C ocorre de maneira sazonal, portanto com maiores perdas do elemento.

Conclusão

Após 12 anos da última calagem, verificou-se acidificação na camada superficial do solo, evidenciada pelo menor valor de pH e maior teor de Al trocável, em todos os sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão.

As camadas do solo de 0-5 e de 5-10 cm apresentaram, durante os anos de avaliação, aumento nos teores de matéria orgânica e de P e K, entretanto os valores de Al trocável também aumentaram e o pH diminuiu.

Os teores de matéria orgânica, P, K e Ca + Mg decrescem, de modo gradual, com aumento da profundidade do solo.

Os sistemas de manejo estudados proporcionaram maior quantidade de C acumulado no solo que os observados na floresta subtropical remanescente.

Referências

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L.; BRUM, A. C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio do solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.
- AMBROSI, I.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistema de produção de grãos combinado com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, 2001.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN NETO, L. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000.

- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V. Acidificação de latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.
- COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.
- DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.
- ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.
- FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. M. da. Efeito da adubação nitrogenada nas propriedades químicas de um Latossolo, cultivado com milho em sucessão à aveia-preta, na implantação do sistema plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 639-647, 2007.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; DE MORI, C. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos com pastagens, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 51-57, 2006.
- FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.
- FREIRIA, A. C.; MONTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químico do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.
- HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.
- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 163-170, 2006.
- MATOWO, P. R.; PIERZYNSKI, G. M.; LAMOND, R. E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil and Tillage Research**, v. 50, n. 1, p. 11-19, 1999.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, J. S. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.
- SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A.; DENARADIN, J. E. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, v. 1, n. 1, p. 9-13, 1999.
- SANTOS, H. P.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção com pastagens sobre o rendimento e fertilidade do solo sob plantio. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1-2, p. 101-111, 2003.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; MANTO, L. Conversão e balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1-2, p. 39-46, 2005.
- SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos químicos e físicos de solo em sistemas de produção com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, n. 1-2, p. 73-81, 2006.
- SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 329-337, 2006.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do solo, 2004.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLANT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. (Boletim técnico, 5).

Received on June 21, 2007.

Accepted on February 25, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.