

EFEITO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO MISTOS SOB PLANTIO DIRETO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO APÓS OITO ANOS⁽¹⁾

H. P. SANTOS⁽²⁾, R. S. FONTANELI⁽³⁾, G. O. TOMM⁽⁴⁾ & S. T. SPERA⁽⁴⁾

RESUMO

Os atributos de solo relativos à sua fertilidade foram avaliados num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Passo Fundo (RS), oito anos após o estabelecimento (1993 a 2000) de cinco sistemas de produção que integravam culturas produtoras de grãos, pastagens de inverno e pastagens perenes - 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 da estação fria (festuca + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; sistema IV [pastagens perenes da estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; e sistema V (alfafa para feno), que foi acrescentado como tratamento adicional, com repetições em áreas contíguas ao experimento, em 1994. As áreas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I, a partir do verão de 1996. As culturas, tanto de inverno como de verão, foram estabelecidas sob plantio direto. Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso com quatro repetições. Os valores de pH, de Al trocável, de Ca + Mg trocáveis, de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável foram influenciados pelos sistemas de produção. Os sistemas de produção elevaram os níveis de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável, principalmente na profundidade de solo de 0-5 cm. Os teores de matéria orgânica e os de Al trocável, de P extraível e de K trocável diminuíram da camada de 0-5 cm para a camada de 15-20 cm, enquanto para os valores de pH e de Ca + Mg trocáveis ocorreu o contrário.

Termos de indexação: rotação de culturas, integração lavoura-pecuária, pastagem anual, pastagem perene.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em março de 2002 e aprovado em abril de 2003.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), Caixa Postal 451, CEP 99001-970 Passo Fundo (RS). E.mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br - Bolsista CNPq-PQ.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Embrapa Trigo e Professor Titular da FAMV-UPF. E.mail: renatof@cnpt.embrapa.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Embrapa Trigo. E.mail: tomm@cnpt.embrapa.br; spera@cnpt.embrapa.br

SUMMARY: *EFFECT OF MIXED CROP PRODUCTION SYSTEMS UNDER NO-TILLAGE ON SOIL FERTILITY AFTER EIGHT YEARS*

Soil fertility characteristics were evaluated on a typical dystrophic Red Latosol (Typic Haplorthox) located in Passo Fundo, State of Rio Grande do Sul, Brazil, after eight years of use under mixed production systems (1993 to 2000). The effects of production systems integrating grain production with winter annual and perennial pastures under no-tillage were assessed. Four production systems were evaluated: 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 + birdsfoot trefoil)]; and system IV [perennial warm season pastures (bahiagrass + black oat + rye grass + white clover + red clover + birdsfoot trefoil)]; and system V (alfalfa as hay crop), which was established in an adjacent area in 1994. The areas under systems III, IV, and V returned to system I after the summer of 1996. The treatments were arranged in a randomized complete block design, with four replications. Exchangeable Al and Ca + Mg, organic matter, extractable P, and exchangeable K levels were influenced by crop production systems. The production systems increased the contents of organic matter, extractable P, and exchangeable K, mainly at 0-5 cm depth. Organic matter, exchangeable Al, extractable P, and exchangeable K levels decreased from the 0-5 cm layer to the 15-20 cm layer, while the opposite occurred with pH and exchangeable Ca + Mg contents.

Index terms: crop rotation, ley farming, annual pasture and perennial pasture.

INTRODUÇÃO

No sistema plantio direto (PD), em virtude da localização dos fertilizantes adicionados, da concentração de resíduos vegetais e da menor erosão de solo, ocorre, na camada superficial, acúmulo de matéria orgânica e de cálcio + magnésio, de fósforo e de potássio (Sá, 1993; De Maria et al., 1999; Matowo et al., 1999; Santos & Tomm, 1999; Silveira & Stone, 2001). Além disso, a adição de fertilizantes nitrogenados amoniacais na superfície do solo promove frente de acidificação, com abaixamento do pH a partir da camada superficial, porém sem alterar a saturação por bases nem aumentar a toxidez por alumínio, provavelmente em decorrência da diminuição de sua atividade como resultado da presença de compostos orgânicos (Salet, 1994).

Nos trabalhos desenvolvidos por Sá (1993), com vários tipos de solo, no estado do Paraná, observou-se aumento de 9 a 27 % no teor de matéria orgânica no PD sobre o preparo convencional de solo. O acúmulo de matéria orgânica ocorreu na camada de 0-10 cm. De Maria et al. (1999), em Rhodic Ferralsol, em Campinas (SP), em PD, verificaram acúmulo de matéria orgânica, de P e de K, na superfície do solo (0-5 cm), em relação à camada mais profunda (10-20 cm). Santos & Tomm (1999), no estado do Paraná, em Latossolo Bruno álico, em PD, observaram valores Ca + Mg trocáveis diminuíram na camada de 0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm. Silveira & Stone (2001), no estado de Goiás, em Latossolo Vermelho perférico, em PD, verificaram

maiores teores de Ca + Mg, de P e de K na superfície do solo (0-10 cm) do que na camada de 10-20 cm.

Tem sido relatado o efeito de sistemas de rotação de culturas sobre características de fertilidade de solo para produção de grãos; entretanto, são escassas as informações sobre esses efeitos em sistemas de produção mistos, ou seja, em que há integração de lavoura com pecuária. Alguns trabalhos relatam o efeito benéfico de pastagens perenes sobre a produtividade de algumas espécies (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), em razão da melhoria da fertilidade de solo (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens anuais de inverno e pastagens perenes, em sistema plantio direto (PD), após oito anos de cultivo, sobre características de fertilidade de solo e produtividade de culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), município de Passo Fundo (RS) (longitude 28 ° 15 ' S, latitude 52 ° 24 ' W e altitude 684 m), no período de 1993 a 2000, em Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999), textura muito argilosa e relevo suave ondulado. Os teores médios de argila, silte e areia na camada de 0-20 cm são, respectivamente:

720, 130 e 150 g kg⁻¹. As culturas componentes dos sistemas de produção que precederam o experimento foram: soja, no verão, e cevada ou trigo, no inverno.

Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de produção que integravam grãos [aveia branca (*Avena sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* Merrill) e trigo (*Triticum aestivum* L.)], pastagens anuais de inverno [aveia preta (*Avena strigosa* Schred.), azevém (*Lolium multiflorum* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.)] e pastagens perenes [alfafa (*Medicago sativa* L.), cornichão (*Lotus corniculatus* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.), pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), trevo branco (*Trifolium repens* L.) e trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.)]. São eles: 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 da estação fria (festuca + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; sistema IV [pastagens perenes da estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão)]; e sistema V (alfafa para feno), acrescentado como tratamento adicional, com repetições em áreas contíguas ao experimento, em 1994 (Quadro 1). As áreas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I, a partir do verão de 1996. Todas as espécies, tanto no inverno como no verão, foram estabelecidas sob plantio direto.

Em abril de 1993, antes da semeadura das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo em cada parcela, à profundidade de 0-20 cm, e

os valores médios observados foram: pH = 6,0; Al trocável = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca + Mg trocáveis = 102,8 mmol_c dm⁻³; matéria orgânica = 23,0 g kg⁻¹; P extraível = 5,3 mg kg⁻¹; e K trocável = 60 mg kg⁻¹. Três anos antes da instalação do experimento, foi efetuada calagem com calcário dolomítico, baseada no método SMP (pH 6,0). As parcelas semeadas com alfafa foram corrigidas novamente com 6,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100 %), para elevar o pH para 6,5, aplicado em duas vezes: metade antes da aração (arado de discos) e metade antes da gradagem (grade niveladora).

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a recomendação para cada cultura (CFSRS/SC, 1995) 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.

Em maio de 2000, após a colheita das culturas de verão, foram coletadas amostras de solo compostas de duas subamostras por parcela, em cada uma das seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As análises (pH em água, P extraível, K trocável, matéria orgânica, Al trocável e Ca + Mg trocáveis) seguiram o método descrito por Tedesco et al. (1985): Al (extração em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L⁻¹); Ca + Mg (mesmo extrator do Al e determinado por espectrofotometria de absorção atômica); matéria orgânica (determinada por combustão úmida); P e K (determinados por Mehlich-1) (Tedesco et al., 1985).

Quadro 1. Sistemas de produção de grãos e de pastagens anuais de inverno, perenes de estação fria e perenes de estação quente, sob plantio direto

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

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

O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas de 400 m². Os diversos sistemas de produção que integravam pastagens anuais de inverno e pastagens perenes com culturas produtoras de grãos foram comparados para cada característica de fertilidade de solo em determinada profundidade de amostragem. As profundidades de amostragem de solo foram comparadas em cada sistema de produção estudado. As médias foram comparadas entre si, pelo teste de Scheffé, a 5 % (Gomes, 1973).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio de pH do solo (Quadro 2), para todas as camadas e sistemas de produção, apresentou valores menores do que o verificado nas camadas estudadas, após dois anos de cultivo, cujos valores foram de 0-5 cm: 5,96; 5-10 cm: 6,29; 10-15 cm 6,48; e 15-20 cm: 6,29, sob plantio direto (Santos et al., 2001). Dentre os sistemas de produção estudados, houve diferença significativa para os valores de pH do solo somente na camada superficial. O tratamento V apresentou valor significativamente maior de pH, na camada de 0-5 cm do que os sistemas III e IV. Nos quatro primeiros sistemas de produção, foi aplicado calcário há mais de oito anos e, no quinto sistema, em abril de 1994. Na avaliação de maio de 1998, o sistema V apresentou valor de pH, na camada de 0-5 cm, superior ao dos demais sistemas. Isso foi reflexo da aplicação de 6,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100 %), cerca de quatro anos antes.

Em todos os sistemas, houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada, em relação ao início do estabelecimento deste experimento e, principalmente, no sistema V. Em todos os sistemas, houve acidificação da camada de 0-5 cm, necessitando aplicação de calcário após sete anos para possibilitar o cultivo eficiente de leguminosas (CFSRS/SC, 1995). A acidificação do solo nessa camada pode ter ocorrido em virtude da liberação de ácidos orgânicos por ocasião da decomposição da palhada das culturas antecedentes ou em decorrência do uso de fertilizantes nitrogenados (Paiva, et al., 1996; Franchini et al., 2000).

Em estudo realizado por Santos & Tomm (1999), no estado do Paraná, sobre sistemas de rotação de culturas, incluindo trigo, sob PD, em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava (PR), após cinco anos da aplicação de calcário (11,7 t ha⁻¹), verificou-se que a quantidade recomendada não foi suficiente para aumentar o pH em nível desejado (5,0 a 6,0).

Em todos os sistemas de produção estudados, foram observadas diferenças significativas no valor de pH do solo entre determinadas profundidades de amostragem. A mesma tendência encontrada na

avaliação de 1998 (Santos et al., 2001), em que os valores de pH aumentaram gradativamente com o aumento da profundidade do solo (0-5 e 10-15 cm), foi novamente observada. Dados semelhantes foram obtidos por Santos & Tomm (1996) em sistemas de rotação de culturas incluindo trigo, sob sistema plantio direto (PD), em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava (PR). Parte da resposta positiva das culturas à calagem pode ocorrer pelo aumento de absorção de N pelas plantas (Edmeades et al., 1981). Além disso, a acidificação do solo tende a reduzir a atividade microbiana para decomposição dos materiais orgânicos, liberação de nitrogênio mineral e absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas. Todavia, isso não foi verificado entre os sistemas de produção estudados, em razão do acúmulo de material orgânico na superfície como efeito do PD.

O valor de Al trocável do solo (Quadro 2), em todas as camadas de solos amostrados e sistemas de produção estudados, sob PD, foi mais elevado do que na avaliação de maio de 1998, cujos valores foram de 0-5 cm: 0,54; 5-10 cm: 0,09; 10-15 cm: 0,00; e 15-20 cm: 0,14 mmol_c dm⁻³ (Santos et al., 2001), nas quatro camadas estudadas. O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Com exceção da camada de 0-5 cm de profundidade, nas demais camadas não foram verificadas diferenças significativas nos teores de Al trocável do solo entre os sistemas de produção. Na profundidade de 0-5 cm, o sistema III mostrou valor de Al trocável do solo maior do que o do sistema V.

Em dois dos cinco sistemas de produção, foram observadas diferenças significativas no teor de Al trocável entre as profundidades de amostragem do solo. Contudo, os sistemas I, II e V não diferiram entre as profundidades de amostragem. No sistema IV, o teor de Al trocável do solo diminuiu da camada de 0-5 cm para a camada de 15-20 cm. Os sistemas IV e V favoreceram maior acidificação, pois há relação entre aumento do teor de Al trocável e diminuição do pH. Santos & Tomm (1996) obtiveram dados semelhantes somente para um sistema de rotação de culturas para trigo sob PD, em Latossolo Bruno álico, no município de Guarapuava (PR).

Em trabalho realizado por Sidiras & Pavan (1985), com sistemas de rotação de culturas incluindo trigo sob PD, em Latossolo Roxo distrófico, em Rolândia (PR), e Terra Roxa Estruturada, em Londrina (PR), os resultados foram inversos, ou seja, houve incremento no teor de Al trocável da camada de 0-10 para a de 10-20 cm.

Nesta avaliação e em todos os sistemas de produção estudados, houve diminuição do valor de pH e aumento do teor de Al trocável na camada de 0-5 cm, em relação aos observados em maio de 1998, cujos valores foram de 5,95 e 0,54 mmol_c dm⁻³,

Quadro 2. Valores médios de pH em água, de alumínio trocável, de cálcio + magnésio trocáveis, de matéria orgânica, de fósforo extraível e de potássio trocável avaliados após as culturas de verão de 2000, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de produção

Sistema de produção	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
pH – água, 1:1				
I	5,52 Cab	5,71 Bca	6,21 Aa	6,09 Aba
II	5,54 Bab	5,89 ABa	6,18 Aa	6,03 Aa
III	5,39 Bb	5,53 Ba	6,12 Aa	5,93 Aa
IV	5,43 Bb	5,63 Ba	6,13 Aa	6,28 Aa
V	5,74 Ca	6,01 BCa	6,39 Aa	6,33 Aba
Alumínio, mmol _c dm ⁻³				
I	1,78 Aab	1,36 Aa	0,36 Aa	0,52 Aa
II	1,51 Aab	0,83 Aa	0,40 Aa	0,92 Aa
III	2,65 Aa	1,63 Aa	0,20 Ba	0,36 Ba
IV	2,43 Aab	1,99 ABa	0,40 Ba	0,33 Ba
V	0,83 Ab	0,68 Aa	0,04 Aa	1,15 Aa
Cálcio + magnésio, mmol _c dm ⁻³				
I	62 Bb	70 ABb	78 Aab	77 Abb
II	56 Bb	71 Ab	75 Ab	74 Ab
III	62 Bb	70 ABb	80 Aab	76 Ab
IV	64 Bb	73 ABab	78 Aab	84 Aab
V	79 Ba	88 ABa	95 Aa	94 Aa
Matéria orgânica, g kg ⁻¹				
I	33,6 Aa	28,8 Ba	25,4 BCa	23,9 Ca
II	33,3 Aa	26,7 Ba	23,8 Ba	24,0 Ba
III	36,7 Aa	30,2 Ba	24,9 Ca	24,8 Ca
IV	35,2 Aa	30,3 Ba	25,0 Ca	24,8 Ca
V	34,5 Aa	29,6 Ba	26,7 Ca	26,6 Ca
Fósforo, mg kg ⁻¹				
I	18,4 Aab	12,3 Ba	5,7 Ca	3,5 Ca
II	21,3 Aab	11,5 Ba	5,4 Ca	3,9 Ca
III	15,1 Ab	8,8 Ba	4,9 BCa	3,3 Ca
IV	14,8 Ab	9,8 Ba	4,3 Ca	2,9 Ca
V	24,6 Aa	13,0 Ba	4,5 Ca	3,2 Ca
Potássio, mg kg ⁻¹				
I	194 Ab	116 Bb	74 Cb	51 Cb
II	174 Ab	109 Bb	74 BCb	55 Cab
III	157 Ab	98 Bb	58 Cb	50 Cb
IV	158 Ab	86 Bb	53 BCb	42 Cb
V	275 Aa	178 Ba	130 BCa	85 Ca

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na horizontal, e minúscula, na vertical, não apresentam diferenças significativas, a 5%, pelo teste de Scheffé. I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + 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.

respectivamente (Santos et al., 2001), caracterizando acidificação nos primeiros centímetros do solo. Isso pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes nitrogenados, nos sistemas I e II, e à mineralização de resíduos culturais na superfície do solo (Salet, 1994). Para os demais sistemas de produção, essa explicação não é totalmente válida, pois nesses não foram aplicados fertilizantes nitrogenados e grande parte da massa vegetal foi consumida pelos animais em pastejo.

Os teores de Ca + Mg trocáveis do solo (Quadro 2), em todas as camadas, são considerados elevados para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais da região (CFSRS/SC, 1995). Contudo, esses teores estiveram abaixo do observado na camada de 0-5 cm dois anos antes, cujo teor foi 92 mmol_c dm⁻³ (Santos et al., 2001). A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico oito anos antes do início do referido experimento. A aplicação de calcário

dolomítico forneceu cálcio e magnésio em quantidades adequadas, de maneira que os teores ultrapassassem níveis críticos exigidos pelas espécies vegetais componentes dos sistemas de produção: 40 e 10 mmol_c dm⁻³, respectivamente (CFSRS/SC, 1995).

Houve diferenças significativas entre os sistemas de produção quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis do solo, em todas as profundidades de amostragem. Os sistemas I, II e III, porém, não diferiram entre si para os teores de Ca + Mg trocáveis, nas camadas de 0-5, 5-10 e 15-20 cm. O sistema V apresentou teores maiores de Ca + Mg trocáveis nas camadas de 0-5, 5-10 e 15-20 cm, em comparação aos sistemas I, II e III. Isso pode ser devido à aplicação de calcário, em 1994, no sistema V. Resultados semelhantes foram obtidos por Silveira & Stone (2001), em sistemas de rotação de culturas nos Cerrados de Goiás.

Comparando um mesmo sistema de produção, foram observadas diferenças significativas entre todas as profundidades de amostragem quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis do solo. No sistema IV, os teores de Ca + Mg trocáveis aumentaram da camada de 0-5 cm para 15-20 cm. Esses dados estão de acordo com os obtidos por Santos & Tomm (1996) em sistemas de rotação de culturas, incluindo trigo, após 4,5 anos, em Latotosso Bruno álico, no município de Guarapuava (PR). Todavia, Franchini et al. (2000), em sistemas de rotação incluindo soja, no Paraná, em Latossolo Roxo distrófico, nos municípios de Londrina (PR), e Campo Mourão (PR), e Silveira & Stone (2001), em sistemas de rotação de culturas com arroz e feijão, no Brasil Central, observaram maiores teores de Ca + Mg trocáveis na camada de 0-10 cm, em relação aos da camada de 10-20 cm, em Latossolo Vermelho perférrico, no município de Santo Antônio de Goiás (GO). Por sua vez, os demais sistemas de produção estudados elevaram os teores de Ca + Mg trocáveis até a camada de 10-15 cm. Esses resultados foram o inverso dos obtidos para pH e para Al trocável, como previsto.

O teor de matéria orgânica do solo (Quadro 2), em todas as camadas e sistemas de produção, foi igual ou superior ao teor registrado dois anos antes, cujos valores foram: aos 0-5 cm: 32 g kg⁻¹; aos 5-10 cm: 25 g kg⁻¹; aos 10-15 cm: 23 g kg⁻¹; e aos 15-20 cm: 24 g kg⁻¹ (Santos et al., 2001). Na maioria dos estudos sob PD, tem sido observado acúmulo de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo. Por sua vez, esse acúmulo de matéria orgânica no sistema plantio direto aumenta a força iônica da solução de solo na camada superficial (Salet, 1994). Isso explica, em parte, a não-ocorrência de toxidez de alumínio, em razão da menor atividade iônica do alumínio.

Nos sistemas de produção estudados, em todas as camadas de amostragem, não houve diferenças significativas entre os valores médios de matéria

orgânica do solo. Santos et al. (1999), trabalhando com sistemas de rotação de culturas, incluindo trigo, observaram dados semelhantes para o teor de matéria orgânica, em todas as camadas estudadas.

Foram verificadas diferenças significativas no teor de matéria orgânica entre determinadas profundidades de amostragem do solo em todos os sistemas de produção estudados. Para o teor de matéria orgânica, na maioria dos sistemas, houve redução progressiva da camada superficial para a camada mais profunda. Resultado semelhante nas variações entre teor de matéria orgânica da camada de 0-5 cm para a camada de 15-20 cm foi verificado por Sá (1993) e por Santos & Tomm (1996), em sistemas de rotação de culturas para trigo. A manutenção do teor de matéria orgânica em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob PD, resultante da ausência de incorporação destes por meio do revolvimento, que é praticado no preparo convencional de solo, a qual diminui a taxa de mineralização. Resultados similares foram obtidos por Bayer & Mielniczuk (1997).

O teor de P extraível do solo na camada superficial (0-5 cm), em todos os sistemas estudados, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg kg⁻¹) nesse tipo de solo para crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (CFSRS/SC, 1995) (Quadro 2). O teor de P extraível do solo na maioria dos sistemas (I, II e V) aumentou, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, em relação ao teor medido em 1998, cujos valores atingiram 15,3; 8,1; 5,3 e 4,2 mg kg⁻¹, respectivamente (Santos et al., 2001). Como tem sido observado, o PD provoca alterações nas propriedades químicas do solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas espécies (Eckert, 1991; Sá, 1993; Paiva et al., 1996). 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 fornecidos, à eficiência de absorção de íons e à exploração de diferentes profundidades de solo pelo sistema radicular.

Houve diferenças significativas entre os sistemas de produção estudados para o valor do P extraível do solo, apenas na camada de 0-5 cm. O teor de P extraível do solo, nessa camada, foi maior no sistema V do que nos sistemas III e IV. De Maria et al. (1999), trabalhando com sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, encontraram menor teor de P extraível na monocultura de milho do que em milho após soja, sob PD, em Rhodic Ferralsol, em Campinas (SP).

Os sistemas de produção avaliados diferiram significativamente quanto ao teor de P extraível em todas as profundidades de amostragem (I: 18,4 a 3,5 mg kg⁻¹; II: 21,3 a 3,9 mg kg⁻¹; III: 15,1 a 3,3 mg kg⁻¹; IV: 14,8 a 2,9 mg kg⁻¹; e V: 24,6 a

3,2 mg kg⁻¹). Em todos os sistemas, o valor de P extraível na camada de 0-5 cm foi 5,1 a 7,7 vezes maior do que o teor registrado na camada de 15-20 cm. Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos em PD por Sá (1993), por Matowo et al. (1999) e por Santos & Tomm (1999). Segundo Sidiras & Pavan (1985), o acúmulo de P extraível próximo à 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 do menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos do solo, uma vez que não há incorporação de resíduos vegetais por meio do revolvimento de solo no PD (Wisniewski & Holtz, 1997).

O teor de K trocável do solo observado na camada de 0-5 e 5-10 cm (Quadro 2), em todos os sistemas estudados, foi superior ao considerado crítico (80 mg kg⁻¹) para crescimento e desenvolvimento de culturas (CFSRS/SC, 1995). Além disso, o teor de K trocável observado em todos os sistemas de produção e nas camadas de 0-5 a 10-15 cm manteve-se acima do encontrado na avaliação de 1998, cujos valores foram de 106, 65 e 47 mg kg⁻¹, respectivamente (Santos et al., 2001).

Neste período de estudo, os teores de K trocável do solo diferiram significativamente entre alguns sistemas produção. O teor de K trocável, nas camadas de 0-5 a 10-15 cm, foi mais elevado no sistema V. Essas diferenças em favor da cultura de alfafa podem estar relacionadas com o maior teor de K trocável propiciado pela adubação de manutenção ou pelo resíduo cultural dessa leguminosa. Silveira & Stone (2001) encontraram diferenças significativas para K trocável entre sistemas de rotação de culturas, somente na camada de 10-20 cm, em Latossolo Vermelho perférrico, no município de Santo Antônio de Goiás (GO).

Foram verificadas diferenças significativas em teor de K trocável entre todas as profundidades de amostragem de solo de todos os sistemas de produção avaliados. A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo de K trocável na camada próxima à superfície nos diferentes sistemas avaliados. O teor de K trocável, na camada de 0-5 cm, foi 3,2 vezes maior que o verificado na camada de 15-20 cm. Acúmulo semelhante de K trocável, na camada de 0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas sob PD, foi observado por De Maria et al. (1999) e por Santos & Tomm (1999).

CONCLUSÕES

1. Os valores de pH, teores de Al trocável, de Ca + Mg trocáveis, de matéria orgânica, de P extraível e de K trocável foram influenciados pelos sistemas de produção.

2. Os teores de matéria orgânica do solo, de P extraível e de K trocável, principalmente na camada de solo de 0-5 cm, aumentaram em relação aos teores observados em dois anos, de 1998 a 2000, em todos os sistemas de produção realizados sob sistema plantio direto.

3. Os teores de matéria orgânica do solo, de Al trocável, de P extraível e de K trocável diminuíram progressivamente da camada de 0-5 para a de 15-20 cm, enquanto, para os valores de pH e teores de Ca + Mg trocáveis, ocorreu o inverso, em dois anos.

LITERATURA CITADA

- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFSRR/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do solo – Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.
- 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 Till. Res.*, 51:71-79, 1999.
- ECKERT, D.J. Chemical attributes of soils subjected to no-till cropping with rye cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:405-409, 1991.
- EDMEADES, D.C.; JUDO, M. & SARATHCHANDRA, S.U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. *Plant Soil*, 60:177-186, 1981.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção da Informação, Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:459-467, 2000.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 5.ed. Piracicaba, USP-ESALQ, 1973. 430p.
- MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D. & LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. *Soil Till. Res.*, 50:11-19, 1999.
- PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E. & FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:71-75, 1996.

- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, 1993. p.37-60.
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande Sul, 1994. 111p. (Tese de Mestrado)
- 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 de fertilidade do solo após cinco anos. R. Bras. Ci. Solo, 25:645-653, 2001.
- SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Estudos da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20:407-414, 1996.
- SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. Ci. Rural, 29:259-265, 1999.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. R. Bras. Ci. Solo, 9:249-254, 1985.
- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 25:387-394, 2001.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 32p. (Boletim Técnico, 5)
- WISNIEWSKI, C. & HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada com liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 32:1191-1197, 1997.