

PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO SOB PREPARO CONVENCIONAL E SEMEADURA DIRETA APÓS SEIS ANOS DE CULTIVO⁽¹⁾

Jaime Antonio de Almeida⁽²⁾, Ildgardis Bertol⁽³⁾, Dirceu Leite⁽⁴⁾, Andre Júlio do Amaral⁽⁴⁾ & Wilson Antonio Zoldan Júnior⁽⁴⁾

RESUMO

No sistema de preparo convencional, ocorre o revolvimento do solo, incorporando e distribuindo os resíduos vegetais e fertilizantes na camada revolvida. Na semeadura direta, em que não há o revolvimento do solo, por outro lado, os fertilizantes e corretivos são aplicados na superfície e nela são mantidos os resíduos vegetais, o que facilita a formação de gradientes de concentração de nutrientes e de matéria orgânica na camada superficial do solo. Avaliou-se o efeito desses dois sistemas de manejo na modificação de atributos químicos de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, em Lages (SC), em 2001, seis anos após o solo ter tido seu pH corrigido, comparados a um sistema com campo nativo. Os tratamentos de manejo do solo, com quatro repetições, foram: preparo convencional executado com uma aração e duas gradagens em rotação (PCR) e em sucessão de culturas (PCS), semeadura direta em rotação (SDR) e em sucessão de culturas (SDS) e campo nativo (CN). No PCR, foram cultivados feijão/pousio/milho/pousio/soja/pousio e, no PCS, milho/pousio. Na SDR, foram cultivados feijão/aveia/milho/nabo/soja/ervilhaca e, na SDS, milho/ervilhaca. Em abril de 2001, foram avaliados os teores de carbono orgânico, P extraível, K, Ca, Mg e Al trocável (Al^{3+}), hidrogênio mais Al (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC) e pH em água, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-15,0; 15,0-20,0 e 20,0-30,0 cm. Apesar de as diferenças não terem sido significativas, observou-se tendência à redução dos valores de pH e ligeiro aumento dos teores de H + Al nas camadas mais superficiais da semeadura direta em relação ao preparo convencional. Apesar disso, o incremento significativo dos teores de carbono na semeadura direta naquelas camadas parece ter sido responsável pela ligeira redução dos teores de Al trocável. Não se constataram diferenças nos teores de Ca e Mg entre os sistemas de manejo do solo, apenas ligeiro

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos parciais do CNPq e FINEP. Recebido para publicação em dezembro de 2003 e aprovado em março de 2005.

⁽²⁾ Professor de Gênese, Morfologia e Classificação de Solos do CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Avenida Luiz de Camões 2090, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: a2jaa@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor de Uso e Conservação do Solo do CAV, UDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Aluno do Curso de Agronomia do CAV, UDESC. Bolsista de Iniciação Científica CNPq-PIBIC.

incremento do Mg em profundidade na semeadura direta. Nesse sistema, constatou-se acúmulo de K e P nos primeiros centímetros superficiais do solo.

Termos de indexação: manejo do solo, propriedades químicas, métodos de cultivo, rotação de culturas.

SUMMARY: *CHEMICAL PROPERTIES OF A HUMIC CAMBISOL UNDER CONVENTIONAL TILLAGE AND NO-TILLAGE AFTER SIX YEARS OF CROPPING*

In the conventional tillage system the soil is mobilized, incorporating and distributing crop residues and fertilizers in the arable layer. In no-tillage systems, however, where no soil mobilization occurs, lime and fertilizers are applied on the soil surface, which combined with the maintenance of crop residues cover favor the formation of a gradient of nutrient and organic matter concentration in the superficial soil layer. In the present study it was evaluated the effect of these two tillage systems on the chemical attributes of a Humic Cambisol, in Lages County, State of Santa Catarina, Brazil, in 2001, six years after the soil pH had been corrected by liming. The data were compared with those of a soil from a nearby native field. The following soil treatments with four replications were used: conventional tillage with one plowing and two diskings in crop rotation (PCR) and in crop succession (PCS), no-tillage in crop rotation (SDR) and in crop succession (SDS), and a native field (CN). The cropping sequence comprised of bean/fallow/corn/fallow/soybean/fallow was adopted in the PCR, whereas the corn/fallow sequence was adopted in the PCS system. In SDR the sequence was bean/oat/corn/fodder radish/soybean/vetch and, whereas corn/vetch was cultivated in the SDS. In April 2001, organic carbon, extractable phosphorus, exchangeable potassium, calcium, magnesium and aluminum (Al^{3+}), potential acidity ($H + Al$), cation exchange capacity (CEC), and pH in water were analyzed at the depths 0-2.5; 2.5-5.0; 5.0-10.0; 10.0-15.0; 15.0-20.0 and 20.0-30.0 cm. Despite the insignificance of the differences, a tendency to a slight pH reduction and $H + Al$ increase was observed in most superficial layers under no-tillage compared to the conventional tillage system. Significant increases of organic carbon in the no-tillage system seem to be responsible for the slight reduction of exchangeable Al in those layers. No differences among the systems were verified for exchangeable calcium and magnesium, but there was a slight increase of magnesium with depth in the soil under no-tillage system. In this system, an accumulation of K and P was observed in the top centimeters of the soil.

Index terms: soil management, chemical properties, cultivation methods, crops rotation.

INTRODUÇÃO

No Sul do Brasil, a maioria dos solos são ácidos, com níveis altos de Al trocável e baixos valores de soma e saturação por bases (Ernani & Almeida, 1986). Portanto, independentemente do sistema de manejo adotado, a calagem desses solos é imprescindível para garantir boas produtividades agrícolas.

Antes da instalação do sistema de semeadura direta, recomenda-se que o calcário seja incorporado à camada arável dos solos ácidos, mas, após a sua adoção, a reaplicação do calcário é feita sobre a superfície (Anghinoni & Salet, 2000). Em virtude do alto tamponamento da acidez da maioria dos solos argilosos do Planalto de Lages (SC), tem-se constatado maior efeito residual da calagem nesses solos do que em outros menos tamponados, o que

também foi verificado em condições climáticas semelhantes (Ciotta et al., 2002). Graças à crescente adoção do sistema de semeadura direta nos solos do Sul do Brasil (Silva & Paladini, 1997), é importante a avaliação temporal das propriedades químicas do solo neste sistema de manejo em relação a outros, na medida em que estas poderão variar de acordo com o ambiente, tipo e manejo do solo e histórico do uso.

No sistema de semeadura direta, os nutrientes são normalmente aplicados à superfície, criando maiores gradientes de concentração com as camadas inferiores do que no cultivo convencional, em que os nutrientes são incorporados à camada arável do solo (Ciotta, 2001). Em relação ao P, por ser um nutriente de baixa mobilidade, tem-se freqüentemente constatado que, na semeadura direta, ocorre maior acúmulo desse elemento nos primeiros centímetros

superficiais (Eltz et al., 1989; De Maria & Castro, 1993; Bayer & Mielniczuk, 1997). O comportamento do K nesse sistema de manejo do solo tem sido variável, na maioria das vezes, ocorrendo concentração maior do nutriente na superfície (Eltz et al., 1989; Ismail et al., 1994; Klepker & Anghinoni, 1995; Oliveira & Pavan, 1996), embora, em alguns solos, tenha sido verificada certa uniformidade dos teores desse nutriente em profundidade (Franchini et al., 2000).

Em relação aos parâmetros da acidez do solo, por outro lado, a maioria das pesquisas tem demonstrado acidificação das camadas mais superficiais após a condução dos cultivos em semeadura direta (Blevins et al., 1983; Pottker & Ben, 1998; Ciotta, 2001), notadamente quando o calcário é previamente incorporado à camada arável sem reaplicação posterior em superfície. Esse comportamento tem sido atribuído ao efeito ácido resultante da nitrificação ocasionada pela adição periódica de adubos amoniacais em superfície nesse sistema (Blevins et al., 1983), pelo amônio proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos acumulados em superfície, ou, ainda, pelo aumento da concentração eletrolítica verificado na semeadura direta (Ciotta, 2001). Apesar disso, têm sido constatados valores geralmente mais baixos de Al trocável nestas camadas, em virtude da maior complexação desse elemento pela matéria orgânica (Ciotta et al., 2002).

O comportamento do Ca e do Mg é mais variável nos sistemas de manejo do solo e parece depender também do tipo de solo, seqüência de culturas, clima e diferenças na mobilidade intrínseca de cada elemento no solo. O acúmulo superficial de Ca e Mg em solos sob semeadura direta foi observado em vários trabalhos (Pavan et al., 1984; Ismail et al., 1994; Oliveira & Pavan, 1996), embora não tenha sido constatado por outros autores (Klepker & Anghinoni, 1995; Cassol, 1995).

A semeadura direta, por manter os resíduos das culturas sobre a superfície do solo, geralmente promove incremento paulatino nos níveis de carbono nas camadas mais superficiais desse sistema, particularmente nos solos menos tamponados, incrementando a capacidade de troca de cátions e reduzindo a toxidez de Al para as plantas (Bayer, 1992). Nos solos mais tamponados, como os da região do Planalto de Lages, entretanto, espera-se que esses efeitos sejam menores, tendo em vista os níveis mais altos de matéria orgânica naturalmente presentes nesses solos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações no pH em água, teor de carbono orgânico, P extraível, K, Ca, Mg e Al trocáveis, hidrogênio mais Al e capacidade de troca de cátions num Cambissolo Húmico aluminico cujo pH foi previamente corrigido, submetido ao preparo convencional e semeadura direta, ambos com rotação e sucessão de culturas por seis anos, comparando-as com os atributos encontrados em um campo nativo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado num Cambissolo Húmico aluminico léptico, situado a 27 ° 49 ' de latitude sul e 50 ° 20 ' de longitude oeste, com 937 m de altitude média, na região do Planalto Sul Catarinense. O solo é derivado da alteração de siltitos da formação Rio do Rasto e localiza-se próximo a um topo de elevação.

No experimento em que foram avaliadas as propriedades químicas do solo, a área já vinha sendo utilizada há cinco anos com pastagem cultivada, composta de gramíneas e leguminosas consorciadas. O solo, que já havia recebido adubação e correção prévia da acidez para elevação do pH a 6,0, apresentava, no momento da instalação deste experimento (maio de 1995), na média da camada de 0-20 cm, pH em água (1:1) = 5,5, Al trocável = 0,2 cmol_c kg⁻¹, Ca + Mg trocáveis = 10,2 cmol_c kg⁻¹, P extraível = 8,4 mg dm⁻³, K trocável = 78 mg dm⁻³ e MO = 33 g kg⁻¹. Nessa mesma camada, o solo apresentava 421 g kg⁻¹ de argila, 437 g kg⁻¹ de silte e 142 g kg⁻¹ de areia, com densidade de partículas 2,69 kg dm⁻³.

As parcelas experimentais dos tratamentos preparo convencional e semeadura direta mediam 6,5 m de largura por 14,5 m de comprimento, totalizando 94,3 m² cada uma. A área de campo nativo media 13 m de largura por 29 m de comprimento (377 m²), equivalente às quatro repetições dos demais tratamentos.

Os tratamentos de manejo do solo estudados, distribuídos inteiramente ao acaso, com quatro repetições, foram: o preparo convencional, executado com uma aração e duas gradagens, em rotação de culturas (PCR) e em sucessão (PCS), e a semeadura direta, também em rotação de culturas (SDR) e em sucessão (SDS). No PCR, adotou-se a seqüência feijão/pousio/milho/pousio/soja/pousio e, no PCS, a seqüência milho/pousio. No PCR e PCS, os resíduos da parte aérea do milho, da soja e do feijão foram removidos da área experimental imediatamente após a colheita, permanecendo as soqueiras do milho e da soja. Na SDR, foram cultivados feijão/aveia/milho/nabo/soja/ervilhaca e, na SDS, milho/ervilhaca, cujos resíduos da parte aérea das culturas foram mantidos na área experimental após a colheita, com exceção do feijão. Esses tratamentos foram comparados com o campo nativo (CN), o qual foi pastejado até o início do presente experimento (1995), permanecendo em pousio, com roçadas periódicas desde então.

Durante todo o período experimental (1995-2001), foram aplicados, na semeadura direta, 520 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 588 kg ha⁻¹ de K₂O e 333 kg ha⁻¹ de N e, no preparo convencional, 375 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 465 kg ha⁻¹ de K₂O e 252 kg ha⁻¹ de N, distribuídos nos diferentes cultivos. Na semeadura direta, os fertilizantes foram aplicados, na maioria dos casos, em cobertura na

superfície do solo (em alguns casos foram incorporados com semeadora “saraquá”) e, no preparo convencional, foram incorporados após a aração e antes das gradagens.

Na ocasião da coleta das amostras de solo, em abril de 2001, cultivava-se milho em todas as parcelas, com exceção do campo nativo. A cultura encontrava-se na fase de grão farináceo, ou seja, no último quarto de seu ciclo. As amostras foram coletadas nas entrelinhas da cultura.

Foram determinados o pH em água, carbono orgânico, P extraível, K, Ca, Mg e Al trocáveis (Al^{3+}), hidrogênio + Al (H + Al) e capacidade de troca de cátions efetiva e a pH 7, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-15,0; 15,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, em amostras do solo deformadas.

O pH foi determinado potenciométricamente, usando uma relação solo/solução de 1:1. O carbono orgânico foi obtido por oxidação sulfocrômica em banho de areia, sendo determinado por titulação com sulfato ferroso em presença de ferroin. Cálcio, Mg e Al foram extraídos com solução neutra de KCl 1 mol L^{-1} , sendo os dois primeiros quantificados por espectrometria de plasma e o último por titulometria de neutralização com NaOH, em presença de fenolftaleína. Os teores de H + Al foram extraídos com solução de acetato de Ca $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e determinados por titulometria de neutralização com NaOH, em presença de fenolftaleína. Adotaram-se para tanto os procedimentos indicados por Tedesco et al. (1995). Os valores de CTC efetiva, CTC a pH 7, Soma de Bases (SB) e Saturação por Bases (V %) foram obtidos por cálculo, segundo Embrapa (1997).

Os efeitos dos tratamentos de manejo do solo sobre os atributos químicos foram testados por meio de análise da variância. Analisaram-se separadamente os efeitos das profundidades em cada tratamento

e dos tratamentos em cada profundidade. Quando as variáveis foram estatisticamente diferentes, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 %. Na discussão dos resultados, os dados referentes aos tratamentos PCR, PCS, SDR e SDS foram comparados em termos relativos ao CN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após seis anos de cultivo continuado do solo, o pH em água alcançado nos diversos tratamentos manteve-se próximo a 5,5 (Quadro 1), semelhante, portanto, ao valor determinado após a calagem e antes da instalação do experimento. Não se observaram diferenças significativas nos valores de pH entre os tratamentos, para nenhuma das profundidades amostradas, o que é coerente com o fato de que, tanto no preparo convencional como na semeadura direta, o calcário foi previamente incorporado na camada arável do solo. Tais resultados assemelham-se aos obtidos por Muzilli (1983) e Sidiras & Pavan (1985), em Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos argilosos do Paraná. Observa-se, entretanto, ligeira tendência a um decréscimo do pH no sistema de semeadura direta em relação ao convencional, na profundidade de 0-2,5 cm, mas, na média das camadas de 0-30 cm, os valores foram ligeiramente mais altos, resultante do aumento do pH em profundidade nesse sistema. Diversos autores (Moschler et al., 1973; Blevins et al., 1983; Ciotta et al., 2002) também constataram valores mais baixos de pH em sistema de semeadura direta nas camadas mais superficiais do solo. Isso tem sido atribuído não só à acidificação provocada pela decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo nesse sistema, com provável liberação de ácidos orgânicos (Bayer, 1992), mas

Quadro 1. Valores de pH em água num Cambissolo Húmico aluminico léptico, submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo durante seis anos

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR
cm			pH		
0,0-2,5	4,73	5,43 Aa ⁽¹⁾	5,55 Aa	5,31 Ac	5,33 Ac
2,5-5,0	4,61	5,44 Aa	5,42 Aa	5,47 Abc	5,40 Abc
5,0-10,0	4,60	5,44 Aa	5,50 Aa	5,67 Aab	5,54 Aabc
10,0-15,0	4,62	5,45 Aa	5,58 Aa	5,70 Aab	5,66 Aab
15,0-20,0	4,61	5,46 Aa	5,46 Aa	5,78 Aa	5,69 Aa
20,0-30,0	4,62	5,41 Aa	5,24 Aa	5,68 Aa	5,40 Abc
Média	4,63	5,44	5,46	5,60	5,50
C.V. (%)	1	5	4	2	3

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra, em cada sistema de preparo e cultivo do solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

também ao efeito acidificante decorrente da utilização contínua de adubos nitrogenados solúveis de fontes amoniacais (Blevins et al., 1983; Ciotta et al., 2002).

Na área do campo nativo, os valores de pH foram mais baixos, pelo fato de a acidez não ter sido corrigida.

Os teores de Al trocável, bem como a acidez potencial (H + Al) (Quadro 2), foram mais altos no CN, compatíveis com os baixos valores de pH (Quadro 1) e com os baixos teores de Ca e Mg (Quadro 3) constatados nesse sistema, em que a acidez não foi corrigida, mas não diferiram entre si nos demais sistemas.

Embora as diferenças não tenham sido significativas, foram observados teores mais baixos de Al^{3+} no sistema de semeadura direta em comparação aos do preparo convencional, tanto nas distintas camadas como na média dos valores. Este comportamento indica o efeito do maior aporte e produção de compostos orgânicos nesse sistema, que podem ter provocado maior complexação do Al, o que também foi constatado por Ciotta et al. (2002) em um Latossolo Bruno localizado em condições climáticas similares às deste trabalho. Já os teores

de H + Al foram ligeiramente mais altos na camada de 0–2,5 cm do sistema de semeadura direta, compatíveis com os valores mais baixos de pH em água antes referidos. A maior acidez potencial na SD pode ser explicada pelo maior teor de carbono orgânico, também verificado nessa camada (Quadro 5). Desse modo, o carbono orgânico contribuiu para aumentar as fontes de acidez potencial do solo na camada superficial, reduzindo ligeiramente o pH, bem como para aumentar compostos orgânicos complexantes, diminuindo o Al^{3+} . Ciotta et al. (2002) obtiveram resultados similares no Latossolo Bruno de Guarapuava (PR), tendo observado, ainda, valores menores de Al em solução na semeadura direta quando comparados aos do preparo convencional. Tais resultados explicam, em parte, os níveis altos de produtividade obtidos na semeadura direta, comparáveis aos do preparo convencional, apesar do ligeiro aumento da acidez ativa na camada superficial do solo do primeiro sistema.

No campo nativo (CN), os teores de Ca e de Mg foram bastante inferiores aos obtidos nos demais tratamentos, com decréscimo em profundidade (Quadro 3), pelo fato de tal tratamento não ter sofrido calagem e adubação.

Quadro 2. Teores de alumínio trocável e H + Al num Cambissolo Húmico aluminico léptico, submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo durante seis anos

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR
cm	cmolc kg ⁻¹				
	Al ³⁺				
0,0-2,5	5,0	1,3 Ba ⁽¹⁾	1,0 Bb	0,8 Ba	0,6 Ba
2,5-5,0	6,9	1,4 Ba	1,2 Bb	1,2 Ba	1,1 Ba
5,0-10,0	7,3	1,3 Ba	0,9 Bb	0,7 Ba	0,8 Ba
10,0-15,0	7,6	1,3 Ba	1,0 Bb	0,7 Ba	0,6 Ba
15,0-20,0	7,5	1,6 Ba	1,9 Bab	0,6 Ba	0,5 Ba
20,0-30,0	7,3	2,8 Ba	3,4 Ba	1,1 Ba	2,0 Ba
Média	7,1	1,62	1,57	0,84	0,94
C.V. (%)	6	59	67	78	106
	H + Al				
0,0-2,5	13,71	8,72 Ab	8,72 Aa	9,94 Aa	9,30 Aa
2,5-5,0	14,25	8,55 Ab	7,92 Aa	7,18 Aa	9,86 Aa
5,0-10,0	14,93	8,33 Ab	8,30 Aa	8,82 Aa	8,25 Aab
10,0-15,0	15,16	8,81 Ab	8,72 Aa	7,88 Aa	7,74 Aab
15,0-20,0	15,77	8,84 Ab	9,20 Aa	7,70 Aa	7,04 Ab
20,0-30,0	14,68	12,34 Aa	10,03 Aa	8,50 Aa	7,43 Ab
Média	14,75	9,26	8,81	8,34	8,27
C.V. (%)	5	17	13	16	16

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra, em cada sistema de preparo e cultivo do solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

Quadro 3. Teores de cálcio e magnésio trocáveis num Cambissolo Húmico aluminico léptico, submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo durante seis anos

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR
cm	cmol _c kg ⁻¹				
	Ca ²⁺				
0,0-2,5	0,7	4,8 Aab ⁽¹⁾	4,8 Aa	4,7 Aab	5,6 Aa
2,5-5,0	0,4	5,7 Aa	4,3 Ba	4,5 ABab	5,4 Aa
5,0-10,0	0,3	4,3 Bab	4,5 ABa	4,2 Bb	5,2 Aa
10,0-15,0	0,2	4,1 Bab	4,5 ABa	4,6 ABab	5,5 Aa
15,0-20,0	0,1	3,8 Bb	4,4 ABa	4,9 ABa	5,0 Aab
20,0-30,0	0,1	3,7 Ab	3,3 Ab	4,3 Ab	3,9Ab
Média	0,3	4,4	4,3	4,5	5,1
C.V. (%)	29	24	8,0	8,0	16
	Mg ²⁺				
0,0-2,5	0,72	2,90 Aab	2,76 Aa	2,31 Ab	2,83 Aa
2,5-5,0	0,44	3,27 Aa	2,49ABa	2,25 Bb	2,73 ABa
5,0-10,0	0,35	2,36 Bab	2,60 ABa	2,22 Bb	2,93 Aa
10,0-15,0	0,27	2,52 Aab	2,56 Aa	2,70 Aa	3,19 Aa
15,0-20,0	0,21	2,06 Bb	2,58 Aa	2,84 Aa	3,27 Aa
20,0-30,0	0,19	2,07 Ab	2,00 Ab	2,66 Aa	2,46 Aa
Média	0,36	2,53	2,49	2,50	2,90
C.V. (%)	19	26	8,0	7,0	19

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra, em cada sistema de preparo e cultivo do solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

Os teores de Ca diferiram entre alguns tratamentos, apenas nas profundidades de 5–10, 10–15 e 15–20 cm, sendo significativamente mais baixos no sistema de preparo convencional com sucessão (PCS) em relação aos da semeadura direta com rotação (SDR), o que parece apontar para um efeito positivo da rotação de culturas na semeadura direta em aumentar os teores de Ca neste sistema. Embora não sejam significativas as diferenças para a maioria dos tratamentos, constata-se tendência de os valores de Ca e de Mg (Quadro 3) serem mais baixos e os de Al trocável mais altos (Quadro 2) na profundidade de 20–30 cm, em relação às camadas superiores, o que deve ser fruto da incorporação do calcário apenas até à profundidade de 20 cm, em todos os sistemas de preparo.

Os teores de Mg, cujos valores foram muito baixos no campo nativo (CN), não mostraram variações significativas entre os tratamentos de preparo convencional e semeadura direta (Quadro 3). Diferentemente do ocorrido com o Ca, entretanto, houve tendência ao crescimento, embora não significativo, dos teores de Mg em profundidade no sistema de semeadura direta, principalmente a partir dos 10 cm. Esse comportamento pode estar associado à maior mobilidade desse cátion em

relação ao Ca, cuja lixiviação ficou mais bem evidenciada no sistema de semeadura direta pelo fato de o solo não ter sido mobilizado durante os seis anos, ao contrário do preparo convencional, onde o solo foi revolvido.

Os valores de CTC a pH 7 e de CTC efetiva não diferiram entre os tratamentos e entre as profundidades, mesmo em relação ao CN (dados não mostrados), sendo os valores médios desses atributos, respectivamente, de 16,06 e 8,59 cmol_c kg⁻¹. A ausência de efeitos dos sistemas de manejo, tanto em reduzir a CTC no caso convencional, em que o solo foi mobilizado, quanto em aumentar, no caso da semeadura direta, em que os resíduos foram mantidos na superfície, pode ser atribuída ao alto tamponamento do Cambissolo Húmico de textura argilosa estudado, bem como ao clima úmido e frio dominante na região, que, possivelmente, atenuaram o efeito dos sistemas de manejo do solo sobre esse atributo. A variável tempo de utilização constitui outro fator importante, já que em solo com características de tamponamento e situado em condição climática semelhante à do presente estudo, Ciotta (2001) verificou incremento significativo da CTC a pH 7, após 20 anos de utilização de um Latossolo Bruno em semeadura direta. Em solos

mais arenosos, com baixo poder tampão, alguns autores (Testa, 1989; Bayer, 1992) também verificaram incrementos significativos na CTC em sistemas de semeadura direta, notadamente nas camadas mais superficiais.

O maior efeito dos sistemas foi constatado para os nutrientes K e P (Quadro 4). Na semeadura direta, os teores de K foram significativamente mais altos do que os encontrados no preparo convencional, principalmente nas amostragens realizadas entre 0–10 cm, onde os teores foram, pelo menos, o dobro dos observados neste. Essas diferenças deveriam-se, possivelmente, ao modo de aplicação dos adubos nos dois sistemas. No preparo convencional, eles foram incorporados, antes de cada semeadura, na camada arável do solo, favorecendo a homogeneização do nutriente e, ao mesmo tempo, a sua maior lixiviação daquela camada. Já na semeadura direta, onde o solo não foi mobilizado, os adubos foram distribuídos a lanço ou incorporados na linha próxima às sementes durante a semeadura, concentrando assim esse nutriente nas camadas mais superficiais do solo.

Em razão da mobilidade do K, observou-se claramente a lixiviação desse nutriente, mantendo-o acima do nível crítico de 60 mg kg⁻¹ (CFS RS/SC, 1995) até à profundidade de 15 cm, principalmente

na SDR, onde os valores foram mais altos do que na SDS. Essas diferenças também podem ser constatadas, comparando-se a média das camadas de 0–30 cm. Com exceção das camadas de 5–10 e 10–20 cm, não se observaram diferenças significativas nos teores de K trocável entre os sistemas, PCS e PCR, cujos valores, entretanto, foram semelhantes aos do CN e significativamente mais altos na camada de 0–2,5 cm do que em profundidade (Quadro 4). Tais resultados assemelham-se aos obtidos por Eltz et al. (1989), Ismail et al. (1994), Klepker & Anghinoni (1995) e Oliveira & Pavan (1996) em condições experimentais similares, mas diferem dos de Franchini et al. (2000) em Latossolo Vermelho distroférrico do Paraná, que não verificaram modificações no teor de K entre os sistemas.

Os valores médios de P extraível na camada de 0–30 cm foram muito baixos no CN e muito altos nos sistemas de preparo convencional e semeadura direta (Quadro 4). Na semeadura direta, os valores médios foram aproximadamente o dobro dos do preparo convencional. Com exceção da camada de 20–30 cm, verificou-se que os valores de P extraível foram expressivamente menores no CN do que nos demais sistemas de manejo. Entre os sistemas de manejo, as diferenças ocorreram apenas na camada de 0–2,5 cm, onde os teores de P foram cerca de

Quadro 4. Teores de potássio e fósforo trocáveis num Cambissolo Húmico aluminico léptico, submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo durante seis anos

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR
cm	mg kg ⁻¹				
	K				
0,0-2,5	151	104 Ca ⁽¹⁾	157 Ca	392 Ba	466 Aa
2,5-5,0	79	64 Bbc	93 Bb	266 Ab	302 Ab
5,0-10,0	55	61 Cbc	87 Bb	159 Ac	161 Ac
10,0-15,0	40	78 Bb	77 Bbc	82 Bd	141 Ac
15,0-20,0	36	54 Babc	60 ABcd	71 Ad	51 Abd
20,0-30,0	32	43 Cc	41 Cd	61 Bd	80 Ad
Média	65	67	86	172	200
C.V. (%)	22	23	18	24	11
	P				
0,0-2,5	2,7	17,2 Bb	13,4 Bbc	136,0 Aa	129,1 Aa
2,5-5,0	2,3	37,4 Aa	20,8 ABab	22,1 ABb	29,5 Ab
5,0-10,0	3,0	16,9 Ab	22,3 Aa	20,3 Ab	13,2 ABbc
10,0-15,0	1,3	20,5 Aab	14,0 Aabc	11,0 ABb	13,2 Abc
15,0-20,0	1,1	7,8 Ab	8,4 Ac	7,4 Ab	8,0 Ac
20,0-30,0	2,1	4,7 Ab	6,2 Ac	5,4 Ab	5,2 Ac
Média	2,1	17,4	14,2	33,7	33,0
C.V. (%)	41	72	37	65	34

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra, em cada sistema de preparo e cultivo do solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

Quadro 5. Carbono orgânico num Cambissolo Húmico aluminico léptico, submetido a diferentes sistemas de manejo e cultivo do solo durante seis anos

Profundidade	CN	PCS	PCR	SDS	SDR
cm	g kg ⁻¹				
0,0-2,5	38,1	21,5 Da ⁽¹⁾	21,6 Da	32,2 Ca	35,2 Ba
2,5-5,0	32,0	20,4 Ca	21,1 Ca	25,5 Bb	24,1 Bb
5,0-10,0	28,8	21,7 Ba	22,4 Ba	24,2 Bbc	22,8 Bcb
10,0-15,0	26,7	22,5 Ba	21,6 Ba	21,3 Bde	22,9 Bcb
15,0-20,0	26,1	21,0 Ba	20,6 Ba	20,4 Be	21,5 Bcb
20,0-30,0	23,0	20,3 ABa	17,9 Bb	22,6 Acd	20,5 Abc
Média	29,1	21,2	20,9	24,5	24,5
C.V. (%)	6	7	7	6	8

CN: campo nativo; PCS: preparo convencional sucessão de culturas; PCR: preparo convencional rotação de culturas; SDS: semeadura direta sucessão de culturas; SDR: semeadura direta rotação de culturas.

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra, em cada sistema de preparo e cultivo do solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.

10 vezes maiores na semeadura direta em relação ao preparo convencional. Altas concentrações de P na camada mais superficial do solo têm sido frequentemente observadas em sistemas de semeadura direta (Eltz et al., 1989; De Maria & Castro, 1993; Bayer & Mielniczuk, 1997), fato atribuído à não-incorporação dos adubos fosfatados, à pequena mobilidade desse nutriente e ao menor contato desses adubos com a fração mineral do solo, que reduzem os processos de adsorção (Muzilli, 1983). Os maiores teores de matéria orgânica em superfície na semeadura direta também podem reduzir a adsorção de P, seja pelo bloqueio físico dos sítios de adsorção seja pela competição entre os ânions orgânicos e o P (Martins & Gonçalves, 1996; Afif et al., 1995).

Em relação ao carbono orgânico (Quadro 5), verificou-se que os valores foram mais elevados no CN, onde a matéria orgânica ficou mais preservada em virtude da não-mobilização do solo, da maior diversidade de espécies vegetais e da provável maior reciclagem do carbono propiciada pela reposição continuada do material orgânico vegetal. As reduções do carbono orgânico no preparo convencional e na semeadura direta, em relação ao campo nativo, foram, em média, respectivamente, de 8 e de 4,5 g kg⁻¹, o que denota a influência do sistema de manejo do solo na ciclagem do carbono. Os teores de carbono orgânico foram significativamente mais altos na semeadura direta apenas nas profundidades de 0–2,5 e 2,5–5,0 cm, denotando a importância desse sistema no incremento paulatino dos níveis de matéria orgânica do solo nas camadas superficiais, tal como foi observado em outros trabalhos (Bayer & Mielniczuk, 1995; Bayer & Bertol, 1999; Ciotta et al., 2002). No

preparo convencional, a redução deveu-se à remoção da parte aérea das culturas, tanto na rotação como na sucessão, permanecendo apenas as soqueiras da cultura do milho que foram incorporadas na camada arável, favorecendo a decomposição mais rápida do material. Já na semeadura direta, tanto as soqueiras como a parte aérea das culturas, com exceção do feijão, permaneceram sobre a superfície do solo, garantindo maior aporte de material orgânico e, ao mesmo tempo, favorecendo sua decomposição mais lenta (Bayer & Bertol, 1999), o que explica os maiores teores de C na camada de 0–2,5 cm nesse sistema, cujos valores mantiveram-se em níveis mais próximos do CN.

CONCLUSÕES

1. A calagem prévia do solo, realizada em 1995, resultou em aumento do pH para valores em torno de 5,5 nos tratamentos de preparo convencional e semeadura direta, os quais praticamente não se modificaram após seis anos de cultivo.

2. Na semeadura direta, apenas na camada de 0–2,5 cm, ocorreram ligeiro incremento da acidez potencial e decréscimo do pH, associados à pequena redução dos níveis de Al trocável.

3. Não houve diferenças nos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e CTC entre os sistemas de preparo e cultivo do solo, tendo ocorrido apenas pequeno incremento nos teores de Mg²⁺ em profundidade na semeadura direta.

4. A semeadura direta aumentou significativamente o teor de carbono orgânico na camada de 0–2,5 cm e o de P e K na profundidade de 0–10 cm em relação ao preparo convencional.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Reaplicação do calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., ed. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas, Núcleo Regional Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. (Boletim Técnico, 4)
- AFIF, E.; BARRÓN, V. & TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. *Soil Sci.*, 159:207-211, 1995.
- BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 172p. (Tese de Mestrado)
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:687-694, 1999.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W. & CORNELIUS, P.L. Changes in soils properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil Till. Res.*, 3:135-146, 1983.
- CASSOL, L.C. Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande Sul, 1995. 98p. (Tese de Mestrado)
- CIOTTA, M.N. Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 102p. (Tese de Mestrado)
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 224p.
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:471-477, 1993
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, 1997. 212p.
- ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. Avaliação de métodos e recomendação quantitativa de calcário para os solos do estado de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:143-150, 1986.
- 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.
- ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Long term no-tillage on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:193-198, 1994.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:395-401, 1995.
- MARTINS, J.R. & GONÇALVES, C.N. Estudo de adsorção de fósforo em diferentes profundidades de um solo sob cultivo convencional e plantio direto. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Lages, 1996. Resumos expandidos. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.11-12.
- MOSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C.; RICH, C.I. & SHEAR, G.M. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, 65:781-783, 1973.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till. Res.*, 38:47-57, 1996.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, and magnesium and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- POTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:589-597, 1998.
- 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.
- SILVA, J.C.C. & PALADINI, F.L.S. Extensão rural em plantio direto. In: PEIXOTO, R.T.G.; DIRK, C.A. & SAMAHA, M.J., eds. Plantio direto: um caminho para sustentabilidade. Ponta Grossa, 1997. p.43-46.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEM, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5)
- TESTA, V.M. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 134p. (Tese de Mestrado)

