

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO AFETADAS POR SISTEMAS DE PREPARO, COM ÊNFASE À MATÉRIA ORGÂNICA⁽¹⁾

C. BAYER⁽²⁾ & I. BERTOL^(2,3)

RESUMO

A matéria orgânica é um dos atributos de solo mais sensível às transformações desencadeadas pelos sistemas de manejo. Neste estudo, foram avaliados os conteúdos de C e N na matéria orgânica total e na sua fração grosseira, bem como as características químicas de um Cambissolo Húmico submetido ao preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto, durante nove anos, no município de Lages, SC. O plantio direto e o preparo reduzido promoveram incrementos de 8,5 e 6,3 t ha⁻¹ de C e 808 e 593 kg ha⁻¹ de N na camada de 0-20 cm do solo, respectivamente, em relação ao preparo convencional. Os incrementos relativos do conteúdo de C e N na matéria orgânica total foram de 12 e 17%, respectivamente, no preparo reduzido, e de 17 e 24%, respectivamente, no plantio direto. A fração grosseira da matéria orgânica (> 53 µm) foi mais sensível ao sistema de preparo de solo do que a matéria orgânica total. Na fração grosseira, os incrementos de C e N foram de 85 e 45%, respectivamente, no preparo reduzido, e de 275 e 230%, respectivamente, no plantio direto, demonstrando ser um atributo adequado para avaliar o efeito de sistemas de manejo a curto prazo. A CTC efetiva do solo foi relacionada com o pH e com os teores de carbono (CTC efetiva = -13,53 + 3,58 pH + 3,51% C, R² = 0,76), demonstrando ser a matéria orgânica um contribuinte importante para a CTC desse solo. No plantio direto, ocorreu pequena estratificação de Ca e grande estratificação de P e K em profundidade, em comparação ao preparo reduzido e convencional. O pH e o Al não foram afetados pelos sistemas de preparo de solo. Não foi observada limitação química ao desenvolvimento vegetal e à produção das culturas nos três preparos de solo.

Termos de indexação: plantio direto.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1998 e aprovado em maio de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: Bayer@cav.udesc.br.

⁽³⁾ Bolsista do CNPq.

SUMMARY: *SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS OF A HUMIC CAMBISOL AS AFFECTED BY TILLAGE SYSTEMS IN SOUTHERN BRAZIL, WITH EMPHASIS ON SOIL ORGANIC MATTER*

Organic matter is considered the soil attribute most sensitive to the changes triggered by the management systems. The objective of this study was to evaluate the effect of nine years using three soil tillage systems -conventional tillage, reduced tillage and no tillage- on soil chemical characteristics of a Humic Cambisol in southern Brazil. Soil samples were collected in September 1996 at depths of 0-2, 2-5, 5-10, 10-15, and 15-20 cm, and analysed for C and N contents in total organic matter and its coarse fraction and for other soil chemical characteristics. Soil management with no tillage and reduced tillage increased C and N at the soil layer of 0-20 cm in comparison to the conventional tillage. With reduced tillage, the increases of C and N in the total organic matter were of 12% (6.3 t ha⁻¹) and 17% (593 kg ha⁻¹), respectively, in relation to conventional tillage. With no tillage, the increases of C and N in total organic matter were of 17% (8.5 t ha⁻¹) and 24% (808 kg ha⁻¹), respectively, in relation to conventional tillage. The increases of C and N in coarse organic matter (> 53 µm) with reduced tillage were of 85% and 45%, respectively, in relation to conventional tillage. With no tillage, the increases of C and N in coarse organic matter were of 275 and 230%, respectively, in relation to conventional tillage. A close relationship was observed between effective CEC and soil pH and C content [CEC = -13.53 + 3.58 pH + 3.51 C(%); R² = 0.76], confirming the dependence of CEC on soil organic matter. No tillage resulted in a stratification of Ca, P and K along soil depth, as compared with reduced tillage and conventional tillage, while pH and Al were not affected by the soil tillage treatments. None of the treatments resulted in any chemical limitation for crop development and productivity.

Index terms: soil tillage, no tillage.

INTRODUÇÃO

A importância da matéria orgânica em relação às características químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. A sua influência sobre as características do solo e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que a matéria orgânica seja considerada um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994).

Os principais fatores de manejo que influem no conteúdo de matéria orgânica são o preparo de solo e os sistemas de sucessão e de rotação de culturas utilizados (Langdale et al., 1992; Bayer & Mielniczuk, 1997a,b).

O preparo do solo executado com aração e, ou, gradagem, aumenta o potencial de perda de matéria orgânica por erosão hídrica e decomposição microbiana, sendo a última a principal forma de perda de matéria orgânica do solo afetada pelos preparos (Reicosky & Lindstrom, 1993). Reicosky et al. (1995) verificaram que, nos 19 dias imediatamente após a aração do solo, ocorreu uma liberação de 2,48 t ha⁻¹ de C como CO₂, quantidade superior à adicionada pelo resíduo de trigo (1,85 t ha⁻¹ de C), indicando substancial oxidação biológica do carbono orgânico do solo. Dezenove dias após o preparo, metade do resíduo de trigo permanecia visível, não

completamente decomposto, indicando que mais da metade do C liberado como CO₂ foi resultante da matéria orgânica do solo.

Os sistemas de sucessão e de rotação de culturas também são fundamentais para a manutenção ou recuperação do conteúdo de matéria orgânica, considerando sua influência na quantidade de resíduos culturais adicionados ao solo anualmente. Burle et al. (1997) obtiveram, no sul do Brasil, uma relação linear entre o aporte de resíduos vegetais, durante 11 anos, em diferentes sistemas de cultura, e o conteúdo de C do solo, no sistema plantio direto.

Segundo Bayer & Mielniczuk (1997a,b), a redução ou eliminação do revolvimento do solo constitui pré-requisito para o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo, nas condições de clima subtropical do sul do Brasil. Conjuntamente à eliminação do revolvimento do solo, é fundamental a utilização de sistemas de sucessão e de rotação de culturas com alto aporte de resíduos vegetais. Bayer (1996), após nove anos de utilização do sistema aveia + ervilhaca/milho + caupi em plantio direto, obteve incrementos de 11 t ha⁻¹ de C e 1.000 kg ha⁻¹ de N na camada de 0-17,5 cm, comparativamente ao sistema aveia/milho em preparo convencional.

Em sua maioria, os estudos sobre o efeito de sistemas de manejo têm demonstrado que as alterações no conteúdo de matéria orgânica são

lentas, necessitando de um período de tempo relativamente longo para serem detectadas. Por essa razão, alguns estudos têm avaliado, adicionalmente à matéria orgânica total, atributos como biomassa microbiana (Powlson et al., 1987; Vargas, 1997) e matéria orgânica leve (Powlson et al., 1987; Jansen et al., 1992), os quais são mais sensíveis, permitindo uma avaliação antecipada da qualidade dos sistemas de manejo de solo adotados.

Bowman et al. (1990) encontraram reduções de 55 a 63% no conteúdo de carbono orgânico total do solo (0-15 cm) em sessenta anos de cultivo. Na fração leve da matéria orgânica, a redução foi de 67 a 72%, ocorrendo 87% deste declínio nos primeiros três anos. Oades & Turchenek (1978) observaram maiores incrementos relativos de C, N e P nas frações grosseiras da matéria orgânica.

Os efeitos do sistema de manejo sobre a matéria orgânica têm apresentado, direta ou indiretamente, reflexos nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Especificamente em relação às características químicas, o incremento de matéria orgânica resulta no aumento da CTC do solo (Testa et al., 1992; Bayer & Mielniczuk, 1997a), na diminuição da toxidez de Al (Salet, 1994) e na maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do N (Teixeira et al., 1994; Burle et al., 1997), entre outros.

A eliminação do revolvimento do solo e a aplicação superficial de corretivos e fertilizantes também promovem alteração na distribuição de nutrientes na camada arável do solo, em relação ao preparo convencional. Bayer & Mielniczuk (1997a) atribuíram uma estratificação em profundidade da concentração de Ca, Mg, K e P a tais fatores, após cinco anos da adoção do plantio direto, num Podzólico Vermelho-Escuro. A concentração de Al em profundidade no solo foi maior no plantio direto do que no preparo convencional. Entretanto, segundo os autores, nenhum dos atributos químicos avaliados foi limitante ao desenvolvimento vegetal e à produção das culturas em plantio direto.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da utilização do preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto, desenvolvidos durante nove anos, sobre as características químicas de um Cambissolo Húmico álico, com ênfase à matéria orgânica, na região do Planalto Serrano de Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 1996 num experimento de avaliação de perdas de solo por erosão, instalado em 1988, no Centro de Ciências Agroveterinárias- UDESC, Lages, SC, em um Cambissolo Húmico álico de textura argilosa e relevo ondulado (Bertol, 1994). Segundo Köeppen, o clima da região é do tipo Cfb. A

altitude média é de 953 m, com temperatura máxima média anual de 21,7°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.674 mm (Bertol, 1993).

O ensaio, no período de 1988 a 1993, apresentava delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por três tratamentos e duas repetições. Os tratamentos eram constituídos por três sistemas de preparo de solo (preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto), efetuados duas vezes por ano por ocasião do estabelecimento das culturas de milho, soja e feijão, no verão, e trigo e aveia, no inverno, as quais compunham um sistema de rotação de culturas. O preparo convencional do solo consistia de uma aração e de duas gradagens de nivelamento. O preparo reduzido do solo consistia de uma escarificação e de uma gradagem de nivelamento. No plantio direto os resíduos das culturas antecedentes foram mantidos na superfície do solo e a mobilização foi exclusivamente na linha de semeadura.

Em dezembro de 1992, todo o experimento recebeu uma dose de 3,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, o qual foi incorporado ao solo mediante uma aração e duas gradagens de nivelamento, envolvendo inclusive os tratamentos preparo reduzido e plantio direto.

A partir de 1994, uma das repetições do experimento foi submetida à sucessão trigo-soja e a outra repetição passou a receber um sistema de rotação de culturas com milho, ervilhaca, soja, trigo, feijão e aveia, até 1996, mantendo-se, contudo, os sistemas de preparo do solo.

O solo foi amostrado, em setembro de 1996, nos três preparos de solo e nos sistemas de rotação e de sucessão de culturas. A amostragem foi manual, nas profundidades de 0-2, 2-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As amostras de solo foram secas em estufa à temperatura aproximada de 60°C e moídas, até passagem em peneira de 2 mm. O solo foi analisado quanto aos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, fósforo disponível e pH em água (relação solo:água 1:1), segundo métodos descritos em Tedesco et al. (1995). A CTC efetiva do solo foi obtida pela soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis.

A matéria orgânica grosseira foi fracionada por passagem em peneira de 53 µm. Em frasco "snap-cap" de 180 mL, foram pesados 20 g de solo e adicionados 80 mL de água destilada e três bolitas de vidro. A suspensão foi agitada, durante 16 h, e, posteriormente, passada em peneira de 53 µm, com auxílio de jato de água. O material retido na peneira foi transferido para recipientes plásticos e o excesso de água removido por sifonação. As amostras foram secas em estufa à temperatura aproximada de 60°C, moídas e analisadas quanto aos teores de carbono orgânico total e nitrogênio total, segundo Tedesco et al. (1995). Os resultados foram corrigidos pela

densidade do solo, sendo expressos na relação massa/volume.

A partir da alteração do sistema de produção, realizada em 1994, o ensaio perdeu o delineamento experimental inicialmente estabelecido, passando a ser composto simplesmente por seis tratamentos sem repetições. Contudo, considerando que os sistemas de preparo de solo permaneceram sem alteração, acumulando seus efeitos ao longo dos anos, e que o objetivo deste trabalho foi evidenciar apenas os efeitos dos sistemas de preparo sobre algumas características químicas do solo, com ênfase ao conteúdo de matéria orgânica, os sistemas de produção (rotação e sucessão de culturas) foram desprezados, aplicando-se a análise da variância para o delineamento experimental inteiramente casualizado, com duas repetições.

A desconsideração dos sistemas de produção é devida ao fato de ser a alteração desses sistemas relativamente recente, decorrendo apenas dois anos entre sua implementação e a amostragem do solo, tempo este extremamente curto para que sistemas de produção possam diferenciar características químicas em solo com elevados índices de fertilidade (Quadro 1). A diferença entre as médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey a 5%. A relação entre variáveis, mediante regressões lineares, foi testada pela significância dos coeficientes de determinação (teste f).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No preparo convencional e no preparo reduzido, a distribuição dos teores de C e N em profundidade foi uniforme. No preparo reduzido, os teores de C e N nas camadas de 0-2 e 2-5 cm foram muito semelhantes aos do preparo convencional. Nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm, os teores de C e N apresentaram tendência de serem maiores no preparo reduzido. No plantio direto, ocorreram aumentos nos conteúdos de C e N do solo, comparativamente ao preparo reduzido e ao preparo convencional (Figura 1). Tais aumentos restringiram-se às camadas superficiais do solo.

O efeito do preparo do solo na distribuição da matéria orgânica deveu-se ao diferente grau de revolvimento do solo. No preparo convencional, a aração e duas gradagens, executadas duas vezes ao ano, promoveram uma distribuição relativamente uniforme dos resíduos vegetais na camada arável (0-20 cm) do solo. No plantio direto, o não-revolvimento do solo resultou numa acumulação dos resíduos culturais na superfície do solo e numa menor taxa de decomposição da matéria orgânica. Já no preparo reduzido, a semi-incorporação dos resíduos vegetais, pela escarificação seguida de gradagem,

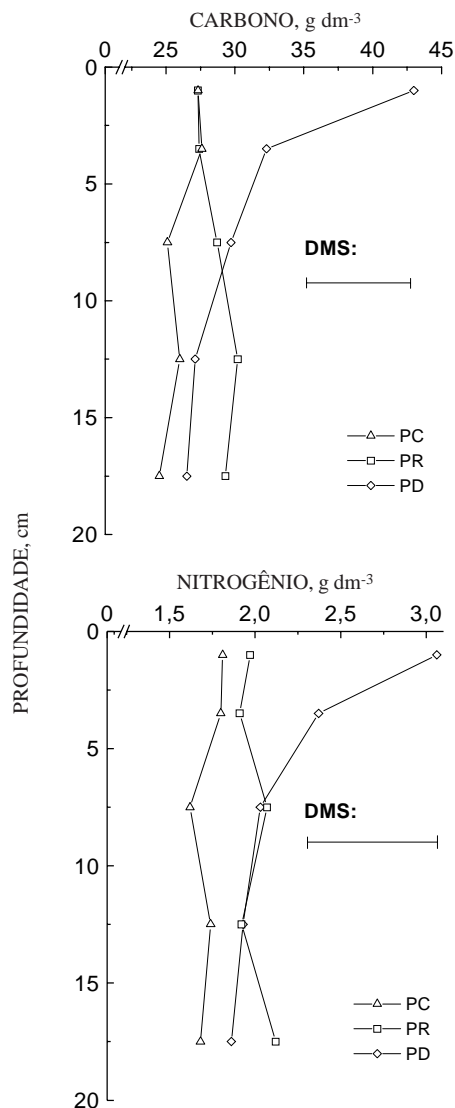


Figura 1. Distribuição dos teores de carbono orgânico e nitrogênio total no perfil de um Cambissolo Húmico, nos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD).

resultou num comportamento intermediário em relação ao plantio direto e ao preparo convencional.

Segundo Reicosky et al. (1995), este aumento localizado de matéria orgânica na superfície do solo no plantio direto é muito importante nos processos que ocorrem no solo, como aumento da disponibilidade de água, redução da amplitude térmica, e na alteração na dinâmica de nutrientes e de elementos tóxicos no solo.

Na camada de 0-20 cm do solo, o preparo convencional apresentou 51,5 t ha⁻¹ de C e 3.424 kg ha⁻¹ de N (Figura 2). No preparo reduzido e no plantio direto, respectivamente, os conteúdos

de C foram de 57,8 e 60 t ha⁻¹ e os de N foram de 4.017 e 4.232 kg ha⁻¹. Tais diferenças representaram um acúmulo diferencial de 6,3 t ha⁻¹ de C e 593 kg ha⁻¹ de N, no preparo reduzido, e de 8,5 t ha⁻¹ de C e 808 kg ha⁻¹ de N, no plantio direto, comparativamente ao preparo convencional.

Nas condições de clima do Planalto Serrano Catarinense, é difícil avaliar o efeito da incorporação de calcário, com aração e gradagem, efetuada em 1992, em todos os tratamentos indistintamente, sobre o acúmulo de matéria orgânica no solo. É provável que este revolvimento tenha reduzido as diferenças entre os preparos de solo em relação ao conteúdo de matéria orgânica, não podendo, no entanto, ser avaliada a intensidade dessa redução.

Langdale et al. (1992) e Bruce et al. (1995) observaram que os incrementos no conteúdo de matéria orgânica, obtidos em cinco anos com plantio direto de sorgo e trevo, foram, em grande parte, perdidos com apenas um revolvimento do solo. Mielke et al. (1986) verificaram que o principal efeito do revolvimento do solo foi a eliminação da camada superficial, na qual ocorreu acúmulo de matéria orgânica (e não a redução no conteúdo global de matéria orgânica). A eliminação da camada superficial do solo em plantio direto resultou em redução substancial da infiltração e aumento da evaporação, afetando o uso eficiente da água, entre outros fatores.

A fração grosseira da matéria orgânica (> 53 µm), composta principalmente por resíduos vegetais em estádios iniciais de decomposição (Andriulo et al., 1990), apresentou-se mais sensível ao efeito do preparo de solo, comparativamente à matéria orgânica total (Figura 3).

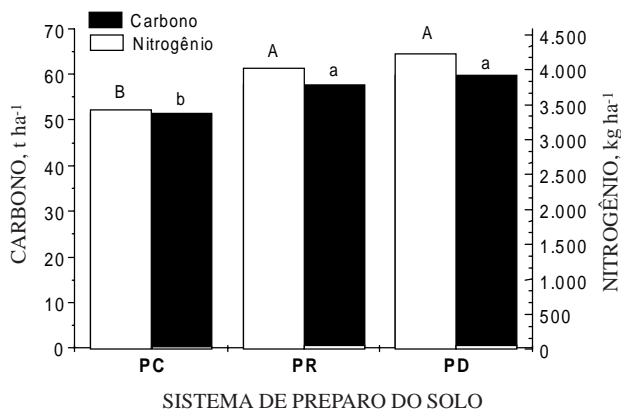


Figura 2. Conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio total na camada de 0-20 cm de um Cambissolo Húmico, nos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD).

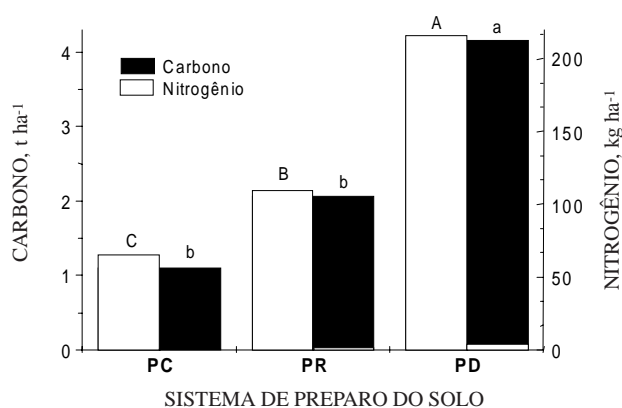


Figura 3. Conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio total na fração grosseira da matéria orgânica (> 53 µm) na camada de 0-20 cm de um Cambissolo Húmico, nos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD).

Em relação ao preparo convencional, os incrementos relativos do conteúdo de C e N da matéria orgânica total do solo foram de 12 e 17%, respectivamente, no preparo reduzido, e de 17 e 24%, respectivamente, no plantio direto. Na fração grosseira da matéria orgânica, os incrementos dos conteúdos de C e N foram de 85 e 45%, respectivamente, no preparo reduzido, e de 275 e 230%, respectivamente, no plantio direto. Esses resultados demonstraram ser os conteúdos de C e N da fração grosseira da matéria orgânica bons indicadores do efeito do sistema de manejo a curto prazo, permitindo uma avaliação antecipada da qualidade dos sistemas de manejo adotados.

Analisando a matéria orgânica grosseira, no preparo reduzido e no plantio direto, foram verificados incrementos de 0,8 e 3,0 t ha⁻¹ de C e 44,6 e 150,7 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, comparativamente ao preparo convencional (Figura 3). Observou-se que, apesar de os incrementos relativos da matéria orgânica grosseira serem elevados, os incrementos absolutos foram menos expressivos. A partir dos incrementos da matéria orgânica total e da fração grosseira, verificou-se que nas frações mais estáveis da matéria orgânica, no preparo reduzido e no plantio direto, os incrementos foram de 5,3 e 5,5 t ha⁻¹ de C e 548 e 657 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, comparados aos do preparo convencional. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Bayer (1996) num Podzólico Vermelho-Escuro manejado em plantio direto, no qual os maiores incrementos relativos foram observados na fração grosseira da matéria orgânica, e os maiores incrementos absolutos, nas frações mais estáveis. Esse acúmulo de matéria orgânica mais humificada, observado no plantio direto, é fundamental em diversos processos

físico-químicos do solo, como na geração de cargas negativas e na microagregação, dentre outros.

Na figura 4, observa-se a relação existente entre os teores de C do solo e a CTC efetiva. O coeficiente angular da equação de regressão linear simples mostra que a CTC da matéria orgânica é aproximadamente $225 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($3,88 \times 100/1,724$). A CTC efetiva da matéria orgânica deste solo é aproximadamente duas vezes maior do que aquela obtida por Bayer & Mielniczuk (1997a) num Podzólico Vermelho-Escuro ($106 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o que indica ser a matéria orgânica qualitativamente diferente nos dois solos. Os maiores valores de pH obtidos neste estudo (Quadro 1) podem ter contribuído para os maiores valores de CTC efetiva da matéria orgânica.

Comparando a CTC efetiva da matéria orgânica ($225 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) com a CTC da fração argila, estimada em $14,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (com base no teor de argila de 420 g kg^{-1}), observa-se a importância da matéria orgânica na CTC deste solo e, conseqüentemente, da utilização de métodos de preparo com menor revolvimento.

A CTC da matéria orgânica origina-se da dissociação de grupos funcionais, principalmente os carboxílicos, sendo, portanto, pH-dependente. Outra fonte de CTC pH-dependente deste solo pode ser a caulinita, a qual apresenta, predominantemente, CTC dependente do pH.

A equação de regressão linear múltipla entre o pH e o teor de C (variáveis independentes) e a CTC efetiva (variável dependente) do solo é expressa por:

$$\text{CTC efetiva} = -13,53 + 3,58 \text{ pH} + 3,51\% \text{C} \quad (R^2 = 0,76 \text{ **})$$

O pH do solo não foi afetado pelos métodos de preparo (Quadro 1). Nos três anos e nove meses que sucederam a aplicação e incorporação de calcário, não foi observada tendência de acidificação

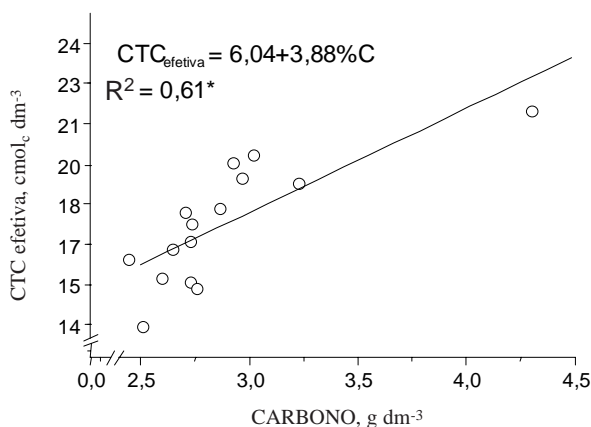


Figura 4. Relação entre a concentração de carbono orgânico total e a CTC efetiva do solo.

Quadro 1. Características químicas do solo nos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD)

Profundidade	Sistema de preparo do solo		
	PC	PR	PD
cm	pH em água		
0-2	5,62 ^{ns NS}	6,10	5,73
2-5	5,44	5,57	5,86
5-10	5,54	6,03	6,07
10-15	5,41	6,00	6,07
15-20	5,62	5,67	5,69
	Al (cmol _c dm ⁻³)		
0-2	0,19 ^{ns NS}	0,12	0,29
2-5	0,26	0,31	0,19
5-10	0,18	0,14	0,14
10-15	0,32	0,37	0,13
15-20	0,38	0,29	0,26
	Ca (cmol _c dm ⁻³)		
0-2	7,77 cA	8,52 bA	11,86 aA
2-5	7,61 bA	8,83 bA	10,17 aAB
5-10	6,94 bA	9,18 aA	9,83 aAB
10-15	7,87 bA	9,90 aA	9,25 abB
15-20	7,49 bA	9,95 aA	8,21 abB
	Mg (cmol _c dm ⁻³)		
0-2	6,62 aA	6,84 aA	7,93 aA
2-5	6,32 aA	7,14 aA	7,05 aA
5-10	5,74 bA	7,60 aA	8,08 aA
10-15	6,43 bA	8,67 aA	7,70 abA
15-20	6,57 bA	8,92 aA	7,42 abA
	K (mg dm ⁻³)		
0-2	296 bA	392 abA	539 aA
2-5	253 bA	361 abA	519 aA
5-10	224 aA	291 aAB	342 aB
10-15	220 aA	228 aBC	231 aBC
15-20	195 aA	156 aC	150 aC
	P (mg dm ⁻³)		
0-2	56 bA	111 bA	291 aA
2-5	51 b	100 bAB	296 aA
5-10	46 aA	95 aAB	104 aB
10-15	37 aA	70 aAB	47 aBC
15-20	25 aA	32 aB	19 aC
	CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)		
0-2	15,06 bA	16,55 bA	21,47 aA
2-5	14,83 bA	17,20 bA	18,74 aAB
5-10	13,41 bA	17,81 aA	18,91 aAB
10-15	15,21 bA	19,79 aA	17,67 abAB
15-20	15,88 bA	19,50 aA	16,25 abB

Coefficientes de variação: pH = 4,9%, Al = 46%, Ca = 8%, Mg = 10%, K = 27%, P = 28% e CTC = 8%.

ns = Diferença entre médias de sistemas de preparo de solo, em cada profundidade, não-significativa pelo teste de Tukey a 5%. NS = Diferença entre médias de profundidade, em cada sistema de preparo de solo, não-significativa pelo teste de Tukey a 5%. Médias de preparo do solo, em cada profundidade, seguidas de letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%. Médias de profundidade, em cada preparo de solo, seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

superficial do solo no plantio direto, em comparação à dos demais sistemas de preparo. Os valores de pH foram superiores a 5,5, o que não representa limitação ao desenvolvimento vegetal. O Al não apresentou nenhuma tendência clara entre preparos e profundidades.

De maneira geral, ocorreu, no plantio direto, pequena estratificação de Ca e maior estratificação de K e P em profundidade, em relação aos sistemas de preparo convencional e reduzido. Em relação ao Ca, esse comportamento provavelmente foi devido à reciclagem de nutrientes na fitomassa, os quais foram depositados na superfície do solo. Para o K e o P, além da reciclagem de nutrientes, a adição de fertilizantes na superfície tem contribuído para a estratificação dos nutrientes. O Mg não apresentou estratificação significativa em profundidade no plantio direto.

Em relação à fertilidade do solo, segundo os critérios da Comissão de Fertilidade do Solo dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Comissão..., 1995), não foi observada limitação ao desenvolvimento vegetativo e à produtividade das culturas nos três sistemas de preparo de solo.

CONCLUSÕES

1. O plantio direto e o preparo reduzido resultaram em aumento nos conteúdos de C e N no solo, em relação ao preparo convencional; os aumentos restringiram-se às camadas superficiais do solo.
2. Os aumentos relativos nos conteúdos de C e N foram maiores na fração grosseira da matéria orgânica do que na matéria orgânica total do solo.
3. A CTC efetiva relacionou-se significativamente com o teor de C e com o pH do solo.
4. As concentrações de Ca, K e P apresentaram maior estratificação em profundidade no plantio direto do que nos sistemas de preparo reduzido e convencional.

LITERATURA CITADA

- ANDRIULO, A.; GALANTINI, J.; PECORARI, C. & TORIONI, E. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamento por tamizado. *Agrochimica*, 34:475-489, 1990.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas conservacionistas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997a.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997b.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:267-271, 1994.
- BOWMAN, R.A.; REEDER, J.D. & LOBER, R.W. Changes in soil properties in a central plains rangeland soil after 3,20 and 60 years of cultivation. *Soil Sci.*, 15: 851-857, 1990.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W.; WEST, L.T. & MILLER, W.P. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:654-660, 1995.
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J. & FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant Soil*, 190:309-316, 1997.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo, SBCS/Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPT, 1995. 223p.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, 1994. (Special publication, 35)
- JANSEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1799-1806, 1992.
- LANGDALE, G.W.; WEST, L.T.; BRUCE, R.R.; MILLER, W.P. & THOMAS, A.W. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Tech.*, 5:81-90, 1992.
- MIELKE, L.N.; DORAN, J.W. & RICHARDS, K.A. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Til. Res.*, 7:355-366, 1986.
- OADES, J.M. & TURCHENEK, L.W. Accretion of organic carbon, nitrogen and phosphorus in sand silt fractions of a red-brown earth under pasture. *Aust. J. Soil Res.*, 16:351-354, 1978.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19:159-164, 1987.
- REICOSKY, D.C. & LINDSTROM, M.J. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.*, 85:1237-1243, 1993.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS, C.L. & RASMUNSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Conserv.*, 50:253-261, 1995.
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. (Tese de Mestrado)

- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 18:207-214, 1994.
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J. & MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 16:107-114, 1992.
- VARGAS, L.K. Biomassa e atividade microbiana em sistemas de manejo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 111p. (Tese de Mestrado)