

DIMINUIÇÃO DA HUMIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM CAMBISSOLO HÚMICO EM PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

C. BAYER⁽²⁾, L. MARTIN-NETO⁽³⁾ & S. C. SAAB⁽⁴⁾

RESUMO

O ambiente menos oxidativo do solo em plantio direto diminui o grau de humificação da matéria orgânica. Para testar esta hipótese, avaliou-se a concentração de radicais livres semiquinona (RLS) na matéria orgânica da camada superficial (0-25 mm) de um Cambissolo Húmico, cultivado por 8 anos nos sistemas preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD), em Lages (SC). A concentração de RLS na matéria orgânica foi determinada por ressonância paramagnética eletrônica (EPR) nas frações granulométricas > 53, 53-20, 20-2 e < 2 µm. Na média das frações granulométricas, a concentração de RLS na matéria orgânica do solo foi menor em PD ($15,83 \times 10^{17}$ spins g⁻¹ C) do que em PC ($18,33 \times 10^{17}$ spins g⁻¹ C) e PR ($18,39 \times 10^{17}$ spins g⁻¹ C). A matéria orgânica na fração 20-2 µm apresentou a maior concentração de RLS e a menor largura de linha do sinal de EPR, o que é consistente com um maior grau de humificação e, ou, maior interação com a fração mineral, em comparação às frações > 53 e < 2 µm. Na fração 53-20 µm, os baixos teores de carbono orgânico não permitiram a detecção do sinal de EPR do RLS. Em adição ao efeito nos estoques de matéria orgânica, o PD resulta no decréscimo do grau de humificação, o que pode ter importante implicação na qualidade do solo.

Termos de Indexação: manejo do solo, qualidade do solo, ressonância paramagnética eletrônica, radicais livres semiquinona.

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

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Posta 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

⁽³⁾ Pesquisador do Centro de Instrumentação Agropecuária da Embrapa. Caixa Postal 741, CEP 13560-970 São Carlos (SP). E-mail: martin@cnpdia.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. CEP 84031-510 Ponta Grossa (PR). E-mail: srsaab@uepg.br

SUMMARY: *HUMIFICATION DECREASE OF SOIL ORGANIC MATTER UNDER NO-TILLAGE*

The less oxidative environment in soils of no-tillage systems decreases the humification degree of organic matter. To test this hypothesis, the concentration of semiquinone free radicals (SFR) of organic matter from the surface layer (0 to 25 mm) of a Humic Cambisol (Lages, Santa Catarina State) was evaluated. The soil had been cultivated for 8 yrs under conventional tillage (CT), reduced tillage (RT), and no-tillage (NT). The SFR concentration in organic matter was assessed by electron spin resonance (ESR) in the granulometric fractions (> 53, 53-20, 20-2, and < 2 µm). Among the tillage systems, the lowest concentration of SFR in the whole soil organic matter was observed in no-tilled soil (15.83×10^{17} 'spins' g⁻¹ C), in comparison with CT (18.33×10^{17} 'spins' g⁻¹ C) and RT (18.39×10^{17} 'spins' g⁻¹ C). Organic matter of the 20-2 µm size fraction showed a higher concentration of SFR and a smaller line width, which is consistent with a higher humification degree and/or higher interaction with soil minerals, in comparison with the size fractions > 53 and < 2 µm. The ESR signal of SFR was not detected in the 53-20 µm granulometric fraction due to the low organic C contents. In addition to the effect on soil C and N stocks, no-tillage decreases the humification degree of organic matter which may have an important influence on the soil quality.

Index terms: soil management; soil quality; electron spin resonance; semiquinone free radicals.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de manejo de solo podem afetar a qualidade da matéria orgânica do solo. Entretanto, estudos relacionados com este aspecto concentram-se nas regiões de clima temperado, enquanto pouca informação existe sobre as características da matéria orgânica em regiões de clima tropical e subtropical (Griffith & Schnitzer, 1980; Nascimento et al., 1992). No Brasil, a pesquisa sobre qualidade da matéria orgânica é recente, principalmente no que se refere a variações induzidas por sistemas de manejo (Ceretta, 1995; Bayer et al., 2000a,b).

A concentração de radicais livres semiquinona (RLS), os quais são estabilizados por estruturas aromáticas condensadas (Riffaldi & Schnitzer, 1972), tem sido relacionada com o grau de humificação da matéria orgânica do solo (Schnitzer & Levesque, 1979; Martin-Neto et al., 1998). Bayer et al. (2002b) avaliaram a concentração de RLS, por ressonância paramagnética eletrônica (EPR), em ácidos húmicos extraídos pelo método de fracionamento químico clássico (Stevenson et al., 1989) de amostras de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo e de culturas. Os autores verificaram menor grau de humificação dos ácidos húmicos extraídos de solo cultivado durante nove anos com aveia + ervilhaca/milho + caupi em plantio direto ($2,89 \times 10^{17}$ g⁻¹ ácido húmico) em comparação ao solo cultivado com aveia/milho em preparo convencional ($11,75 \times 10^{17}$ g⁻¹ ácido húmico). Embora a adição de maiores quantidades de resíduos vegetais ao solo tenha influenciado, o sistema de preparo de solo teve efeito preponderante na diminuição do grau de humificação dos ácidos húmicos.

Bayer et al. (2000a) utilizaram os métodos químico clássico e físico (granulométrico) para fracionamento da matéria orgânica e, na seqüência do estudo, aplicaram a técnica de EPR para análise qualitativa. Os autores verificaram que a concentração de RLS nos ácidos húmicos e nas frações granulométricas do solo diminuiu com o aumento da quantidade de resíduos vegetais adicionados pelas culturas em plantio direto. Os autores comprovaram, no entanto, que a amplitude da concentração de RLS foi duas a três vezes maior com a aplicação da técnica de EPR nas amostras fracionadas fisicamente do que nas amostras fracionadas quimicamente (ácidos húmicos), demonstrando maior sensibilidade da associação fracionamento físico-EPR no estudo qualitativo da matéria orgânica.

Quando da aplicação de EPR em frações granulométricas obtidas por fracionamento físico do solo, os espectros devem ser tratados no sentido de eliminar ou reduzir a interferência dos sinais de quartzo (Bayer et al., 2000b). Outro elemento, encontrado em grande quantidade em Latossolos brasileiros, que interfere na obtenção de resultados satisfatórios com a aplicação de EPR em frações granulométricas do solo, é o Fe III. Em frações granulométricas de um Latossolo Roxo caulinitico do Rio Grande do Sul, não foi possível a detecção do sinal de EPR dos RLS da matéria orgânica em virtude da sobreposição dos sinais de EPR do Fe III. Da mesma forma, em camadas de solo mais profundas do que 2,5 cm de um Argissolo Vermelho, a baixa relação C orgânico/Fe III também não permitiu a análise por EPR da matéria orgânica (Bayer et al., 2000b).

Sendo a influência do manejo de solo sobre o grau de humificação da matéria orgânica dependente do tipo de solo e das condições climáticas regionais, o objetivo do presente estudo foi avaliar a magnitude do efeito de três sistemas de preparo de solo sobre o grau de humificação da matéria orgânica em frações granulométricas da camada superficial (0-25 mm) de um Cambissolo Húmico, em Lages (SC).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com amostras de solo coletadas no 8º ano de um experimento em campo, instalado, em 1988, no Centro de Ciências Agroveterinárias-CAV, da Universidade do estado de Santa Catarina-UDESC, em Lages (SC). O solo da área experimental é um Cambissolo Húmico álico argiloso horizonte A moderado, com substrato composto por siltitos + argilitos (Schick et al., 2000). O clima da região é do tipo Cfb, segundo classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de 1.674 mm. As temperaturas máximas e mínimas médias anuais são 21,7 e 11,5 °C, respectivamente, e a altitude do local é de 953 m.

O experimento consistiu em três sistemas de preparo de solo (preparo convencional-PC, preparo reduzido-PR e plantio direto-PD). Em cada sistema de preparo, foram utilizados dois sistemas de cultura: a sucessão trigo (*Triticum aestivum*)/soja (*Glicine max*) e um sistema de rotação de culturas, envolvendo as culturas de milho (*Zea mays*), ervilhaca (*Vicia sativa*), soja, trigo, feijão (*Phaseolus vulgaris*) e aveia preta (*Avena strigosa*). O preparo de solo foi efetuado duas vezes ao ano, por ocasião do estabelecimento das culturas de inverno e verão. O PC consistiu de uma aração e de duas gradagens de nivelamento; o PR de uma escarificação e de uma gradagem de nivelamento, e o PD da semeadura através dos resíduos das culturas antecedentes, com mobilização de solo 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, incluindo os sistemas de PR e PD.

As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-25 mm), em setembro de 1996, apenas nas parcelas com rotação de culturas, nos três sistemas de preparo de solo. A amostragem da camada superficial do solo é justificada pela não-obtenção de resultados satisfatórios com a espectroscopia de EPR em amostras de solo de camadas mais profundas, o que decorre da baixa razão C orgânico/Fe III das amostras (Bayer et al., 2000b).

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas a 2 mm e submetidas ao fracionamento físico em

diferentes frações granulométricas. A dispersão do solo consistiu na agitação horizontal, durante 15 h, de uma suspensão de 70 mL de água destilada e 20 g de solo, com duas esferas de vidro de 10 mm de diâmetro, em frasco de 100 mL.

Imediatamente após a dispersão, a fração > 53 µm foi separada com auxílio de peneira. O solo que passou na peneira (< 53 µm) foi fracionado por sedimentação em água nas frações < 2, 20-2 e 53-20 µm, assumindo-se como densidade de partícula 2,65 g cm⁻³. O tempo de sedimentação foi calculado pela Lei de Stokes (Bayer et al., 2000a). Inicialmente, separou-se a fração < 2 µm e, na seqüência, a fração 20-2 µm. A fração 53-20 µm consistiu no material remanescente após a separação da fração 20-2 µm.

Na separação das frações < 2 e 20-2 µm, repetiu-se o procedimento de sedimentação por 15 a 20 vezes para cada fração, de modo que, ao final do procedimento, a suspensão retirada estivesse transparente, indicando que praticamente todo o solo referente àquela fração havia sido separado (Bayer et al., 2001).

Para minimizar a floculação das amostras durante a sedimentação, adicionou-se 0,28 g de NaOH por litro de suspensão. Após separação das frações granulométricas, adicionou-se 0,77 g CaCl₂ por litro de suspensão de cada fração e, posteriormente à floculação do solo, a água foi retirada parcialmente com auxílio de sifão. Na seqüência, as frações foram secas em estufa a ± 60 °C, quantificadas, moídas em gral de porcelana e caracterizadas quanto aos teores de C orgânico (Quadro 1) e de óxidos de ferro (Quadro 2), respectivamente, segundo procedimentos descritos em Tedesco et al. (1995) e Mehra & Jackson (1960).

A espectroscopia de EPR foi aplicada diretamente nas frações granulométricas sem tratamento químico. As análises por EPR foram realizadas, em triplicata, em espectrômetro Varian E-109 linha Century na Banda X (9 GHz), do Laboratório de Biofísica da Universidade de São Paulo, em São Carlos (SP). As análises foram feitas numa frequência de 0,34 mTesla, amplitude de modulação pico a pico de 0,1 mTesla, potência de microondas de 0,2 mW e temperatura ambiente.

Os espectros de EPR das frações sem tratamento refletem a composição da fração mineral e da matéria orgânica. A minimização da interferência da fração mineral foi obtida a partir da subtração de espectros de EPR das frações não tratadas por espectros de EPR das frações tratadas com peróxido de hidrogênio. O tratamento com peróxido de hidrogênio foi realizado repetidamente, a uma temperatura aproximada de 40 °C, e resultou numa oxidação de 88-96 % da matéria orgânica presente originalmente nas diferentes frações granulométricas (dados não apresentados). A partir da subtração destes dois grupos de espectros, obteve-se um terceiro grupo, o qual reflete apenas o sinal de EPR

Quadro 1. Percentagem da fração granulométrica em relação à massa total de solo, teor de C orgânico nas frações granulométricas e percentagem de C orgânico da fração granulométrica em relação à massa de C orgânico do solo inteiro, em três sistemas de preparo de solo

Sistema de manejo de solo	Fração μm	% massa de solo	C orgânico	
			Teor na fração g kg ⁻¹	% do total ⁽¹⁾
Preparo convencional	> 53	2,9	82,9	8,5
	53-20	18,7	4,9	3,2
	20-2	28,6	21,1	21,1
	< 2	49,8	38,5	67,2
Preparo reduzido	> 53	5,0	80,9	13,2
	53-20	18,8	5,6	3,4
	20-2	28,0	24,6	22,4
	< 2	48,2	38,8	61,0
Plantio direto	> 53	10,9	148,0	35,6
	53-20	18,9	6,2	2,6
	20-2	27,2	34,0	20,4
	< 2	43,0	43,5	41,4

(¹) % do C total $\frac{\text{C na fração } > 53 \mu\text{m} \times \text{massa fração } > 53 \mu\text{m}}{\text{C na } > 53 \mu\text{m} \times \text{massa } > 53 \mu\text{m} + \text{C na } 20-2 \mu\text{m} \times \text{massa } 20-2 \mu\text{m} + \text{C na } 53-20 \mu\text{m} \times \text{massa } 53-20 \mu\text{m} + \text{C na } < 2 \mu\text{m} \times \text{massa } < 2 \mu\text{m}} \times 100$

Quadro 2. Teores de óxido de ferro livre total e de Fe oxalato (pouco cristalino) em frações granulométricas na camada superficial (0-25 mm) de um Cambissolo Húmico. Média de três sistemas de preparo de solo

Fração granulométrica μm	Fe livre total g Fe kg ⁻¹	Fe oxalato g Fe kg ⁻¹
> 53	22,37 ($\pm 3,79$)	2,10 ($\pm 0,01$)
53-20	12,17 ($\pm 1,51$)	1,37 ($\pm 0,81$)
20-2	20,77 ($\pm 2,15$)	3,00 ($\pm 0,65$)
< 2	26,88 ($\pm 0,05$)	2,79 ($\pm 0,24$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão da média ($n = 3$).

da matéria orgânica. Assim, a determinação dos parâmetros espectrais nos espectros obtidos por subtração resultou na minimização da interferência da fração mineral na quantificação da concentração de RLS. A figura 1 exemplifica o procedimento de subtração de espectros de EPR na fração 20-2 μm .

A área relativa dos sinais de EPR foi calculada pela aproximação da multiplicação da intensidade do sinal (I) pela largura de linha do sinal de EPR (ΔH) ao quadrado, ou seja, $I \times \Delta H^2$ (Poole & Farach, 1972). A concentração absoluta de RLS foi estimada usando como padrão secundário um rubi sintético, calibrado com um padrão de KCl (strong pitch) de concentração de radica livres conhecida (Martin-Neto et al., 1994), fornecido pela Varian. A

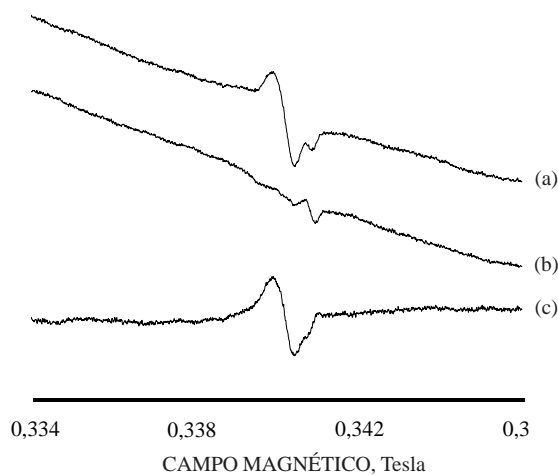


Figura 1. Procedimento de subtração de espectros para minimizar a interferência da fração mineral na determinação dos parâmetros espectrais na quantificação da concentração de radicais livres semiquinona por ressonância paramagnética eletrônica em frações granulométricas do Cambissolo Húmico: (a) espectro da fração 20-2 μm sem tratamento, (b) espectro da fração 20-2 μm tratada com peróxido de hidrogênio, e (c) espectro obtido pela diferença entre (a) e (b).

concentração média de RLS na matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas de manejo foi calculada, levando-se em consideração a massa de C orgânico nas diferentes frações granulométricas do solo.

Como, originalmente, o experimento em campo foi constituído e realizado para avaliação de perdas de solo por erosão hídrica, este não apresenta repetições de tratamentos. Assim, a interpretação do efeito dos sistemas de preparo de solo na concentração de RLS nas frações granulométricas do solo foi realizada com base no respectivo desvio-padrão da média, calculado a partir dos resultados da análise por EPR em triplicata ($n = 3$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2, pode ser observado o sinal de EPR da matéria orgânica nas frações granulométricas do solo em valor g (fator giromagnético) de 2,004. Segundo Senesi (1990a,b), este valor do fator g é característico do RLS, possivelmente conjugado com vários anéis aromáticos na matéria orgânica. A detecção do sinal de EPR do RLS da matéria orgânica nas frações granulométricas somente foi possível pelos baixos teores de Fe total e Fe oxalato neste solo (Quadro 2). Neste solo, apenas na fração 53-20 μm não foi possível detectar o sinal de EPR dos RLS, o que foi ocasionado pelos baixos teores de carbono orgânico nesta fração, variando de 4,9 a 6,2 g kg^{-1} , nos diferentes sistemas de preparo de solo (Quadro 1).

Adicionalmente ao sinal do RLS, verificou-se a presença de um segundo sinal, em valor g 2,000, nos espectros de EPR. Este sinal foi verificado nas frações > 53, 53-20, e 20-2 μm , em intensidades variáveis, sendo a origem relacionada com a

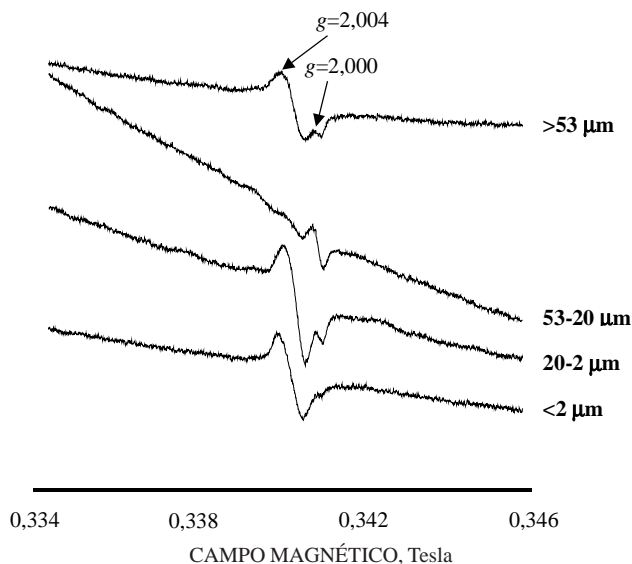


Figura 2. Espectros de ressonância paramagnética eletrônica de frações granulométricas (> 53, 53-20, 20-2 e < 2 μm) da camada superficial (0-25 mm) de um Cambissolo Húmico cultivado há oito anos em plantio direto.

presença de quartzo (Bayer et al., 2000b). Por sua vez, nos espectros de EPR da fração argila, praticamente não se verificou a presença deste sinal (Figura 2).

A figura 3 apresenta a concentração de RLS nas frações granulométricas do solo nos diferentes sistemas de preparo. Entre as frações granulométricas, as menores concentrações de RLS foram verificadas na fração > 53 μm , enquanto valores intermediários ocorreram na fração fração < 2 μm , e os maiores na fração 20-2 μm , independentemente do sistema de preparo de solo (Figura 3). A menor concentração de RLS na fração > 53 μm é consistente com o grau de humificação menos avançado, sendo composta basicamente por resíduos vegetais e raízes em estádios iniciais de decomposição (Cambardella & Elliot, 1992). Por outro lado, a maior concentração de RLS na fração 20-2 μm também foi verificada por Martin-Neto et al. (1994), num Molissol da Argentina, e por Bayer (1996), em dois Argissolos do Rio Grande do Sul, indicando que a matéria orgânica presente nesta fração encontra-se em avançado estágio de humificação.

Dentre os sistemas de preparo de solo, a redução do revolvimento do solo resultou na diminuição da concentração de RLS nas frações > 53 e 20-2 μm e no aumento na fração < 2 μm (Figura 3). Bayer (1996) também verificou diminuição da concentração de RLS na fração 20-2 mm em dois Argissolos no Rio Grande do Sul sob PD, mas não observou praticamente alterações na fração < 2 μm . A largura de linha do sinal de EPR do RLS também pode fornecer informações em relação à qualidade da matéria orgânica, uma vez que a menor largura de linha indica mais avançado grau de humificação.

Entretanto, neste estudo, não se observou amplitude expressiva (de 0,41 a 0,54 mTesla) na largura de linha do sinal de EPR do RLS (Quadro 3) entre os sistemas de preparo de solo. Apenas entre frações houve variação consistente; na fração 20-2 μm , foram observados sempre menores valores de largura de linha (0,41 a 0,47 mTesla). Esses resultados são consistentes com o maior grau de humificação da matéria orgânica nesta fração. Entretanto, segundo Saab (1999), a menor largura de linha do sinal de EPR também pode indicar maior interação da matéria orgânica e fração mineral nesta fração.

Na média das frações granulométricas, a concentração de RLS no solo em PD ($15,83 \times 10^{17}$ 'spins' g^{-1} C) foi 14 % menor do que em PC ($18,33 \times 10^{17}$ spins g^{-1} C), o qual não se diferenciou do solo em PR ($18,39 \times 10^{17}$ spins g^{-1} C). A menor concentração de RLS e, portanto, o menor grau de humificação, indica menor recalcitrância da matéria orgânica a nível molecular, o que é favorável à disponibilidade de carbono e energia aos microrganismos decompositores. O semelhante grau de humificação da matéria orgânica nos solos em PR e

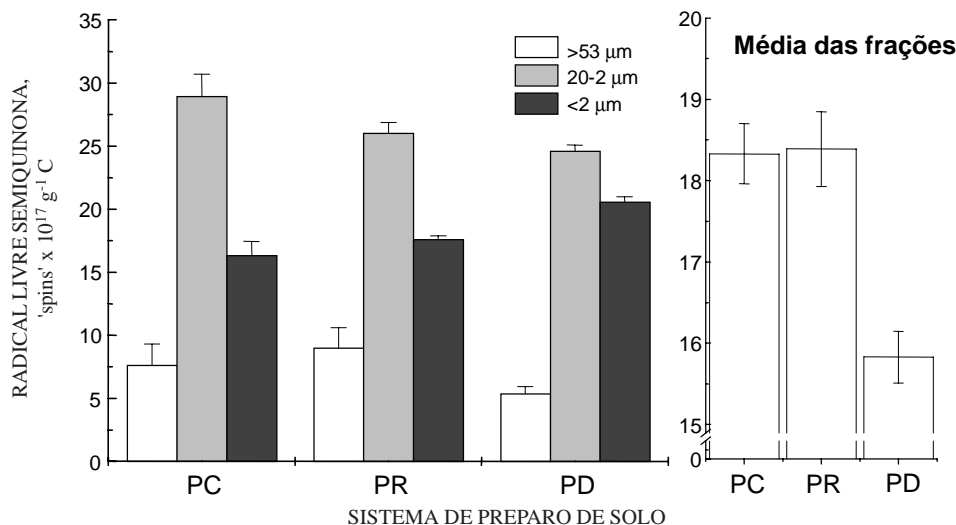


Figura 3. Concentração de radicais livres semiquinona da matéria orgânica em frações granulométricas (> 53, 20-2 e < 2 μm) da camada superficial de um Cambissolo Húmico submetido aos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD). As barras de erro representam o desvio-padrão da média ($n = 3$).

Quadro 3. Valores de largura de linha do sinal de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) dos radicais livres semiquinona da matéria orgânica em frações granulométricas de um Cambissolo Húmico, em três sistemas de preparo de solo

Sistema de preparo de solo	Fração granulométrica	Largura de linha
	μm	mTesla
Preparo convencional	> 53	0,54 (± 0,02)
	20-2	0,43 (± 0,01)
	< 2	0,49 (± 0,00)
Preparo reduzido	> 53	0,49 (± 0,01)
	20-2	0,41 (± 0,00)
	< 2	0,50 (± 0,00)
Plantio direto	> 53	0,53 (± 0,02)
	20-2	0,47 (± 0,01)
	< 2	0,52 (± 0,01)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão da média ($n=3$).

PC deveu-se, provavelmente, às gradagens superficiais realizadas no solo duas vezes por ano, em ambos os sistemas de preparo, as quais promovem expressiva oxidação da matéria orgânica na camada superficial do solo. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Bayer et al. (2000a,b) os quais verificaram, em Argissolo Vermelho do Sul do Brasil, expressiva diminuição do grau de humificação da matéria orgânica do solo quando da utilização de sistemas de preparo sem revolvimento do solo e ou culturas com elevado aporte de resíduos vegetais.

A maior adequação do fracionamento físico em comparação ao método químico clássico (ácidos

húmicos, ácidos fúlvicos e húmica) para o estudo qualitativo da matéria orgânica em sistemas conservacionistas de preparo de solo pode ser verificada no presente estudo. Nota-se, no quadro 1, que 35,6 % do C orgânico do solo em PD está presente na fração > 53 μm, enquanto no PC e PR este valor diminui para 8,5 e 13,2 %, respectivamente. Nesse caso, o menor grau de humificação da matéria orgânica no solo em PD possivelmente não teria sido verificado com o uso do fracionamento químico, no qual ocorre a remoção e o descarte de resíduos vegetais e raízes em estádios iniciais de decomposição, principais componentes orgânicos da fração > 53 μm. Ou seja, a aplicação da espectroscopia de EPR em

frações granulométricas, ou em amostras de solo não fracionadas, permite avaliar a matéria orgânica total do solo, e não apenas a sua fração mais humificada. É possível que esta seja uma das grandes vantagens em relação ao fracionamento químico clássico em estudos de qualidade de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de solo.

CONCLUSÕES

1. O ambiente menos oxidativo no solo em plantio direto promoveu diminuição no grau de humificação da matéria orgânica, em comparação aos solos manejados sob preparo reduzido e preparo convencional.

2. A fração granulométrica 20-2 μm apresentou a concentração mais alta de RLS e a menor largura de linha do sinal de EPR, o que é consistente com o maior grau de humificação da matéria orgânica e ou maior interação da matéria orgânica com a fração mineral, comparativamente aos demais tamanhos de partícula.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Ildegardis Bertol, pela disponibilização do experimento sob sua responsabilidade para realização deste estudo, e ao Professor Otaciro Rangel Nascimento, por permitir o uso do Espectrômetro de EPR, do Laboratório de Biofísica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em São Carlos (SP).

LITERATURA CITADA

- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on SOM in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil Till. Res.*, 53:95-104, 2000a.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C. & MIELNICZUK, J. Interferência da fração mineral na estimativa do grau de humificação da matéria orgânica em agregados organominerais por ressonância paramagnética eletrônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:11-17, 2000b.
- BAYER, C.B.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1473-1478, 2001.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. & ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil*, 238:133-140, 2002a.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S.C.; MILORI, D.M.P. & BAGNATO, V.S. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. *Geoderma*, 105:81-92, 2002b.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CERETTA, C.A. Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistemas de cultura sob plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 127p. (Tese de Doutorado)
- GRIFFITH, S.M. & SCHNITZER, M. Analytical characteristics of humic and fulvic acids extracted from tropical volcanic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 39:861-867, 1980.
- MARTIN-NETO, L.; ANDRIULO, A.E. & TRAGHETA, D.G. Effects of cultivation on ESR spectrum of organic matter from soil size fractions of a mollisol. *Soil Sci.*, 157:365-372, 1994.
- MARTIN-NETO, L.; ROSELL, R. & SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. *Geoderma*, 81:305-311, 1998.
- MEHRA, J.A. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay Clays Miner.*, 5:317-327, 1960.
- NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G. & FERNANDES, F.M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Paraná river basin in Brazil. *Geoderma*, 54:137-150, 1992.
- POOLE Jr., C.P. & FARACH, H.A. The theory of magnetic resonance. The New York: John Wiley & Sons, 1972. 353p.
- RIFFALDI, R. & SCHNITZER, M. Electron spin resonance spectrometry of humic substances. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:301-305, 1972.
- SAAB, S. Caracterização da matéria orgânica em Gleissolos por espectroscopia de EPR, RMN, IV e UV-Visível. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999. 111p. (Tese de Doutorado)
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:427-436, 2000.
- SCHNITZER, M. & LEVESQUE, M. Electron spin resonance as a guide to the degree of humification of peats. *Soil Sci.*, 127:140-145, 1979.
- SENESI, N. Application of electron spin resonance (ESR) spectroscopy in soil chemistry. *Adv. Soil Sci.*, 14:77-130, 1990a.
- SENESI, N. Molecular and quantitative aspects of the chemistry of fulvic acid and its interaction with metal ions and organic chemicals. Part I. The electron spin resonance approach. *Anal. Chim. Acta*, 232:51-75, 1990b.

- STEVENSON, F.J.; ELLIOT, E.T.; COLE, C.V.; INGRAM, J.; OADES, J.M.; PRESTON, C. & SOLLINS, P.J. Methodologies for assessing the quantity and quality of soil organic matter. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Honolulu, University of Hawaii-NifTAL Project, 1989. p.173-199.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.