

**Sistemas de Preparo do Solo e
Características Espectroscópicas
da Matéria Orgânica em Ambientes
Tropicais e Subtropicais Brasileiros**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Ernesto Paterniani
Hélio Tollini
Cláudia Assunção dos Santos Viegas
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana
Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França
Kepler Euclides Filho
Tatiana Deane de Abreu Sá
Diretores

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ladislau Martin Neto
Chefe Geral

Carlos Manoel Pedro Vaz
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane
Chefe Adjunto de Administração

Ricardo Yassushi Inamasu
Gerente da Área de Comunicação e Negócios

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 12

Sistemas de Preparo do Solo e Características Espectroscópicas da Matéria Orgânica em Ambientes Tropicais e Subtropicais Brasileiros

Jeferson Dieckow
Ladislau Martin-Neto
Débora Marcondes Bastos Pereira Milori
Paulo Cesar Conceição
Cimélio Bayer
João Mielnicazuk

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 3374 2477
Fax: (16) 3372 5958
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrap.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Secretária-Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Revisor de texto: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Capa: Valentim Monzane
(Foto da Capa: Área experimental de Manejo do Solo, Estação
Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS.
Crédito: Dr. Falberni de Souza Costa)
Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2005): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

**A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).**

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

D559s Dieckow, Jéferson

Sistemas de preparo do solo e características espectroscópicas da
matéria orgânica em ambientes tropicais e subtropicais brasileiros/Jeferson
Dieckow, Ladislau Martin-Neto, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Paulo Cesar Conceição, Cimélio Bayer, João Mielniczuk. - São Carlos:
Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005.

16 p. - (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e
Desenvolvimento, ISSN 1678-0434; 12)

1. Plantio direto. 2. Preparo convencional. 3. RMN. 4. FIL. 5. EPR.
I. Martin-Neto, L. II. Milori, D. M. B. P. III. Conceição, P. C. IV. Bayer,
C. V. Mielniczuk, J. VI. Título. VII. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	7
Resultados e Discussão	10
Conclusões	15
Referências Bibliográficas	16

Sistemas de Preparo do Solo e Características Espectroscópicas da Matéria Orgânica em Ambientes Tropicais e Subtropicais Brasileiros

Jeferson Dieckow¹

Ladislau Martin-Neto²

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori³

Paulo Cesar Conceição⁴

Cimélio Bayer⁵

João Mielniczuk⁶

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) sobre parâmetros relacionados à estrutura e grau de humificação da matéria orgânica do solo (MOS). Amostras de solo da camada superficial (0-5 cm) foram coletadas em três experimentos de longa duração, em Eldorado do Sul (RS), num Argissolo Vermelho, e em Santo Ângelo (RS) e Campo Grande (MS), em Latossolos Vermelhos, e analisadas por ressonância magnética nuclear do ¹³C, com polarização cruzada e rotação no ângulo mágico (CPMAS ¹³C RMN), fluorescência induzida por *laser* (FIL) e ressonância paramagnética eletrônica (EPR). Em adição aos tratamentos PC e PD, amostras de solo foram coletadas em áreas sob vegetação natural como referência da condição original do solo. O sistema convencional de preparo do solo diminuiu a proporção de C carboidrato e C alquil e aumentou a de C aromático em relação às proporções originais no solo sob vegetação nativa, conforme os resultados de CPMAS ¹³C RMN. Ao contrário, no solo sob plantio direto ocorreu um aumento da proporção de C carboidrato e diminuição de C aromático em relação ao solo em preparo convencional, numa tendência de recuperar as características originais da MOS. Os resultados das técnicas de FIL e EPR foram condizentes com os de RMN. Em comparação ao campo nativo, o preparo convencional aumentou tanto o índice de humificação H_{FIL} como a concentração de radicais livres. Entre os sistemas de preparo, o H_{FIL} e a concentração de radicais livres foram menores no sistema plantio direto em relação ao convencional. Solos manejados sob plantio direto possuem matéria orgânica com natureza mais lábil, enquanto que solos sob preparo convencional possuem matéria orgânica com natureza mais recalcitrante (aromática) em função da decomposição acelerada e preferencial dos constituintes lábeis.

Termos para indexação: plantio direto, preparo convencional, RMN, FIL, EPR

¹Dr., Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Paraná

²Físico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP, e-mail: martin@cnpdia.embrapa.br

³Física, Dra., Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP, e-mail: debora@cnpdia.embrapa.br

⁴Dr., UFRGS, Dep. de Ciência do Solo, C.P. 15100, 90001-970, Porto Alegre-RS, pconceicao@hotmail.com

⁵Eng. Agrônomo, Dr., UFRGS, cimelio.bayer@ufrgs.br

⁶Dr., UFRGS, Dep. de Ciência do Solo, C.P. 15100, 90001-970, Porto Alegre-RS, mieln@ufrgs.br

Land Use Systems And Spectroscopic Characteristics Of Organic Matter In Tropical And Subtropical Brazilian Environment

Jeferson Dieckow
Ladislau Martin-Neto
Débora Marcondes Bastos Pereira Milori
Paulo Cesar Conceição
Cimélio Bayer
João Mielnicazuk

Abstract

This study aimed at assessing the influence of conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) on parameters related to structure and humification degree of soil organic matter (SOM). Soil samples (0-5 cm) were collected in three long-term experiments, in Eldorado do Sul RS (Paleudult), in Santo Ângelo RS and Campo Grande MS (Oxisols), and analyzed through ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy, with cross polarization and magic angle spinning (CPMAS ^{13}C NMR), laser induced fluorescence (LIF) and electron paramagnetic resonance (EPR). In addition to CT and NT treatments, soil samples were collected in native vegetation areas as representing the original soil conditions. The conventional tillage system reduced the proportion of carbohydrate C and alky C and increased that of aromatic C in comparison to the original proportions of the native vegetation soil, according to CPMAS ^{13}C NMR results. On the other hand, no-till soil showed an increase in the carbohydrate C proportion and a decrease in the aromatic C in comparison to the conventionally tilled soil, in a tendency to reestablish the original characteristics of SOM. Results of LIF and EPR were in agreement to the NMR results. Compared to native vegetation, the conventional tillage management increased both the humification index H_{LIF} and the free radicals concentration. Among tillage systems, H_{LIF} and the free radicals concentration were lower in no-tillage compared to conventional tillage. Soils subjected to no-tillage have a more labile organic matter, while conventional tillage soils have a more recalcitrant organic matter (aromatic), due to the accelerated and preferential decomposition of labile constituents.

Index terms: no-tillage, conventional tillage, NMR, LIF, EPR

Introdução

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente importante dos agroecossistemas por interferir tanto na qualidade do solo, e, por conseguinte, na produtividade das culturas, como quanto na qualidade ambiental. O volume de informação referente à influência de práticas de manejo sobre os estoques de matéria orgânica nos solos tropicais e subtropicais é relativamente expressivo se comparado ao de informação referente à influência dessas práticas sobre características qualitativas da matéria orgânica, como recalcitrância molecular, concentração de grupos funcionais e outras.

As características químicas da MOS indicam a qualidade das práticas de manejo adotadas. A labilidade da matéria orgânica, por exemplo, reflete a ação de mecanismos de proteção física das estruturas orgânicas mais lábeis contra o ataque microbiano por; mecanismos como a agregação do solo, o qual é normalmente intensificado melhorada por sistemas de preparo reduzido ou plantio direto. Por outro lado, a maior concentração de estruturas recalcitrantes é um indicativo de que o material lábil está sendo mineralizado de forma acelerada sofreu um maior grau de mineralização, um processo típico em solos manejados convencionalmente através do preparo com arações e gradagens.

Várias técnicas espectroscópicas de análise são adaptadas e aplicadas aos estudos da MOS. Entretanto, a heterogeneidade e a composição mineralógica de uma amostra de solos tropicais e subtropicais pode dificultar as análises por ressonância magnética nuclear do ^{13}C no estado sólido (CPMAS ^{13}C RMN) e por ressonância paramagnética eletrônica (EPR). O íon paramagnético Fe^{+3} dos óxidos interfere na qualidade espectral da CPMAS ^{13}C RMN e da EPR. O tratamento das amostras de solo com ácido fluorídrico (HF) é uma estratégia para remover esse íon da amostra. A espectroscopia de fluorescência induzida por laser (FIL), desenvolvida recentemente (MILORLilori et al., 2005), é uma alternativa às técnicas convencionais de CPMAS ^{13}C RMN e EPR, pois, a princípio, não sofre interferência de íons paramagnéticos, como Fe^{+3} .

O objetivo deste estudo foi avaliar as implicações do sistema de preparo convencional do solo e do plantio direto sobre características qualitativas e sobre a recalcitrância da matéria orgânica de três solos agrícolas distribuídos nas regiões Sul (subtropical) e Centro-Oeste (Cerrado) do Brasil.

Material e Métodos

Áreas experimentais e coleta do solo

O estudo foi baseado em três experimentos de longa duração, localizados em Eldorado do Sul (RS), Santo Ângelo (RS) e Campo Grande (MS). O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com três repetições, a exceção do experimento de Santo Ângelo, que possui apenas duas repetições. As características das áreas experimentais são apresentadas na Tabela 1.

O solo da camada de 0-5 cm de cada experimento foi amostrado nas parcelas manejadas em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) e, adicionalmente em Eldorado do Sul, nas correspondentes subparcelas manejadas com os sistemas de culturas aveia (*Avena strigosa* Schreb)/ milho (*Zea mays* L.) [A/M] e aveia + vicia (*Vicia sativa* L.)/ milho + caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) [AV/MC]. O solo sob vegetação nativa também foi amostrado, em área próxima a cada experimento.

Após a coleta, as amostras de solo foram secas ao ar e moídas até passar em peneira de 2 mm.

Determinação de carbono orgânico total e análises espectroscópicas

A determinação da concentração de C orgânico total foi realizada através de combustão seca, num analisador Shimadzu equipadado com módulo para sólido (VCSH). Previamente as amostras foram moídas até passar em peneira de 0,25 mm.

A caracterização da MOS foi realizada com as seguintes técnicas espectroscópicas: ressonância magnética nuclear do ^{13}C , com polarização cruzada e rotação no ângulo mágico de giro (CPMAS ^{13}C RMN), fluorescência induzida por *laser* (FIL) e ressonância paramagnética eletrônica (EPR). Para viabilizar as análises por CPMAS ^{13}C RMN e EPR, que sofrem interferência do Fe^{3+} das amostras de solo, essas foram previamente tratadas com solução de ácido fluorídrico (HF) 10%. Esse tratamento solubiliza e remove os constituintes minerais da amostra, entre eles o íon paramagnético Fe^{3+} , evitando a interferência desse na intensidade do sinal de alguns tipos de C, além de aumentar a concentração de C, melhorando conseqüentemente a relação sinal/ruído dos espectros. A metodologia para esse tratamento consistiu em pesar 5 g de amostra de solo num tubo de centrífuga de 250 mL e adicionar 200 mL de solução HF 10%. A suspensão ficou sob agitação “end-over-end” por um período de 5 a 10 dias, até a solubilização quase que completa dos minerais, solubilização essa constatada quando somente o material orgânico, de cor escura, tende a se depositar no fundo do tubo. O período relativamente longo para esse tratamento é devido à cinética lenta do ataque ácido sobre os silicatos ou óxidos presentes no solo. No final do tratamento, a suspensão foi centrifugada e o sobrenadante, contendo os íons dos minerais, descartado. A remoção do excesso de HF do material orgânico remanescente foi feita através de quatro lavagens com água destilada seguidas de centrifugação.

Para viabilizar as análises por CPMAS ^{13}C RMN e EPR, que sofrem interferência do Fe^{3+} presente nas amostras de solo, essas foram previamente tratadas com solução de ácido fluorídrico (HF) 10%. Esse tratamento, por solubilizar e remover os constituintes minerais da amostra, aumenta a concentração de C, melhorando conseqüentemente a relação sinal/ruído dos espectros, e remove o íon paramagnético Fe^{3+} , evitando a interferência desse na intensidade do sinal

de alguns tipos de C. A metodologia para esse tratamento consistiu em pesar 5 g de amostra de solo num tubo de centrífuga de 250 mL e adicionar 200 mL de solução HF 10%. A suspensão ficou sob agitação “end-over-end” por um período de 5 a 10 dias, até a solubilização quase que completa dos minerais, solubilização essa constatada quando somente o material orgânico escuro tende a se depositar no fundo do tubo. O período relativamente longo para esse tratamento é devido à cinética lenta do ataque ácido sobre os silicatos ou óxidos presentes no solo. No final do tratamento, a suspensão foi centrifugada e o sobrenadante, contendo os íons dos minerais, descartado. A remoção do excesso de HF do material orgânico remanescente foi feita através de cinco lavagens com água destilada seguidas de centrifugação.

Os espectros de CPMAS ^{13}C RMN foram adquiridos num espectrômetro Varian, modelo Unity Nova 400 MHz, operando com frequência de 100.6 MHz, tempo de contato de 1 ms, tempo de espera de 0,400 s e giro do rotor de 8,1 kHz. Após a transformação de Fourier, um alargamento de linha de 100 Hz foi empregado nos espectros. Cada tipo de C foi quantificado através da integração dos sinais em suas correspondentes bandas espectrais: C aldeído/cetona (220 a 185 ppm), C carboxila/amida/éster (185 a 160 ppm), C aromático O-substituído (160 a 140 ppm), C aromático C- e H-substituído (140 a 110 ppm), C anomérico de carboidrato (110 a 90 ppm), C carboidrato (90 a 60 ppm), C metoxila/ aminoácido/C6 carboidrato (60 a 45 ppm) e C alquil (45 a -10 ppm).

As análises espectroscópicas de EPR foram realizadas num espectrômetro Bruker modelo EMX, operando numa frequência de banda X (9,4 GHz), a temperatura ambiente. Os parâmetros instrumentais foram: campo magnético (H) = 3400 G, frequência de modulação (FM) = 100 kHz, amplitude de modulação = 2,0 G. A concentração de radicais livres semiquinona (spins g^{-1}) foi obtida pela integração da primeira derivada do sinal de ressonância ($I \times H^2$), comparando-se com a concentração do padrão Strong Pitch. A concentração de radicais livres semiquinonas normalmente tem sido é correlacionada ao grau de aromaticidade, o que fornecerá informações referentes ao grau de recalcitrância da matéria orgânica (RIFFALDI e SCHNITZER, 1972).

Para a análise de FIL, uma técnica recentemente desenvolvida na Embrapa Instrumentação Agropecuária (MILORI et al., 2005), as amostras de solo (sem tratamento por HF) foram expostas à radiação *laser* de argônio, com = 458 nm. A fluorescência emitida pela amostra na faixa de 470 a 650 nm foi coletada por uma lente convergente, passada para um monocromador, amplificada e detectada num fotomultiplicador. A intensidade do sinal é relacionada com a presença de estruturas aromáticas condensadas rígidas, e dessa forma pode fornecer informação sobre a magnitude da recalcitrância molecular da MOS. Como a intensidade do sinal de fluorescência é proporcional à quantidade de C fluorescente presente na amostra, é necessário que essa intensidade seja normalizada pela concentração de C na amostra.

Para isso, utiliza-se o índice de humificação H_{FIL} (MILORI et al., 2005), que corresponde à razão entre a área do espectro de fluorescência e a concentração de carbono na amostra e é expresso em unidade arbitrárias (u.a.)

Tabela 1. Características gerais das áreas experimentais deste estudo.

Localizacao	Instituicao ⁽¹⁾	Inicio / duracao	classe de solo	textura	mineralogia da fraccao argila ⁽²⁾	clima	vegeta nativa	o relevo
Regiao subtropical								
1. Eldorado do Sul RS	DS, UFRGS	1985 / 18 anos	Argissolo Vermelho distrofico tipico, derivado de granito	franco-argilo-arenosa (220 g kg ⁻¹ de argila)	720, 102 e 178 g kg ⁻¹ de caulinita, oxidos de Fe e outros minerais, respectivamente	Cfa, subtropical umido. Precipitacao anual media de 1440 mm, distribuidos ao longo do ano. Temperatura anual media de 19,4 °C, com medias mensais variando entre 13,9 e 24,0 °C.	campo subtropical	ondulado a suave ondulado, com altitude de 96 m
2. Santo Angelo RS	COTRISA/ UFRGS	1979 / 25 anos	Latossolo Vermelho distroferico tipico, derivado de basalto	muito argilosa (> 600 g kg ⁻¹ de argila)	710, 274 e 16 g kg ⁻¹ de caulinita, oxidos de Fe e outros minerais, respectivamente	Cfa, subtropical umido. Precipitacao anual media de 1850 mm, distribuidos ao longo do ano. Temperatura anual media de 19,5 °C.	floresta e campo subtropical	ondulado a suave ondulado, com altitude em torno de 300 m
Regiao tropical								
3. Campo Grande MS	CPGC, EMBRAPA	1993 / 11 anos	Latossolo Vermelho	argilo-arenoso (360 g kg ⁻¹ de argila)	predominio de caulinita e gibbsita	Aw, estacao chuvosa e quente no verao e seca no inverno	cerrado tipico	plano

⁽¹⁾DS, UFRGS = Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COTRISA = Cooperativa Regional Triticola Santo Ângelo Ltda.

CPGC, EMBRAPA = Embrapa Pecuária de Corte.

⁽²⁾Para as áreas 1 e 2 as informações mineralógicas são baseadas em DRX, sem avaliação quantitativa exata. Para a área 3, considerou-se informações mineralógicas da região.

Resultados e Discussão

Carbono Orgânico Total

Tabela 2. Concentração de C orgânico na camada de 0-5 cm em função do sistema de preparo do solo. Dados de três áreas experimentais.

Sistema de preparo	Sistema de culturas	C (g kg ⁻¹)
Regiao Subtropical		
<i>Eldorado do Sul, Argissolo</i>		
Vegetacao nativa	campo nativo	22,63
Preparo Convencional	aveia/milho	9,07
	aveia + vica/milho + caupi	11,26
	aveia + vica/milho + caupi	18,85
Plantio direto	aveia/milho	13,88
	aveia + vica/milho + caupi	18,85
<i>Santo Angelo, Latossolo</i>		
Vegetacao nativa	campo nativo	33,35
Preparo convencional	diversificado	22,60
Plantio direto	diversificado	27,25
Regiao Tropical		
<i>Campo Grande, Latossolo</i>		
Vegetacao nativa	cerrado	33,70
Preparo convencional	pousio/soja	19,00
Plantio direto	pousio/soja	24,70

Nos três locais investigados, a concentração de C orgânico total do solo sob plantio direto foi maior que a do solo preparado convencionalmente, numa tendência de recuperar as concentrações originais de C no solo sob vegetação nativa (Tabela 2). Enquanto no plantio direto o mínimo revolvimento do solo diminui a taxa de mineralização/decomposição da matéria orgânica, com implicações positivas para o seqüestro de C e mitigação dos problemas de aquecimento global, no preparo convencional o intenso revolvimento do solo aumenta a taxa de decomposição/mineralização da matéria orgânica, reduzindo conseqüentemente o estoque de C no solo.

Características espectroscópicas da matéria orgânica

O cultivo do Argissolo de Eldorado do Sul através do sistema convencional de preparo diminuiu a proporção de C carboidrato (90 a 60 ppm) e C alquil (45 a 10 ppm) e aumentou a de C aromático, tanto do O-substituído (160 a 140 ppm) como do C- e H-substituídos (140 a 110 ppm), em relação as proporções originais presentes no solo de campo nativo, conforme os resultados de CPMAS ¹³C RMN (Fig. 1). Além disso, aumentou a proporção do C com ressonância em 60 a 45 ppm, possivelmente por um aumento da concentração de C metoxila oriundo de lignina, de um resultado coerente com o aumento na proporção de C aromático O-substituído (Fig. 1).

No sistema de culturas aveia/milho, o plantio direto possibilitou um aumento da proporção de C carboidrato (90 a 60 ppm) e diminuição de C aromático C- e H-substituídos (140 a 110 ppm) em relação ao preparo convencional (Fig. 1), numa tendência de recuperar as características originais da matéria orgânica do solo de campo nativo. No sistema de culturas aveia + vica/milho + caupi, entretanto, não foram detectadas influências significativas do sistema de preparo. Talvez a maior adição de resíduos culturais nesse sistema de culturas tenha mascarando a influência do sistema de preparo.

Os resultados das técnicas de FIL e EPR foram condizentes com os de RMN. Em comparação ao campo nativo, o preparo convencional aumentou tanto o índice de humificação H_{FIL} , conforme os resultados de FIL (Fig. 2), como a concentração de radicais livres semi-quinona, segundo os resultados de EPR (Fig. 3). Entre os sistemas de preparo e de culturas, o H_{FIL} e a concentração de radicais livres foram menores no sistema plantio direto em relação ao convencional e no sistema aveia + vica/milho + caupi aveia/milho em relação ao aveia/milho aveia + vica/milho + caupi (Fig. 2 e 3). Dessa forma, o índice H_{FIL} e a concentração de radicais livres no sistema aveia + vica/milho + caupi manejado em plantio direto foram similares aos encontrados no campo nativo.

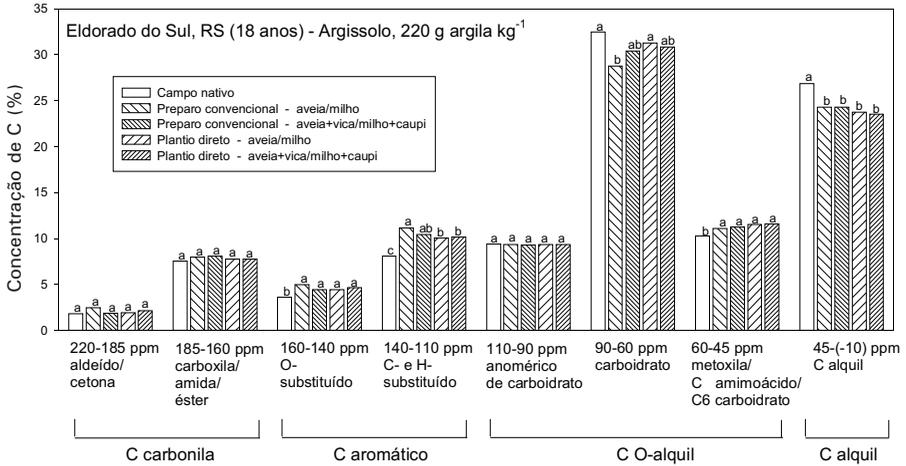


Fig. 1 - Proporção de diferentes tipos de C em função do uso do solo e sistemas de preparo e culturas no Argissolo de Eldorado do Sul (RS). Resultados obtidos por espectroscopia de ressonância magnética nuclear (CPMAS ¹³C RMN). Para um mesmo tipo de C, os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem significativamente segundo o Teste de Tukey ($P < 0,05$).

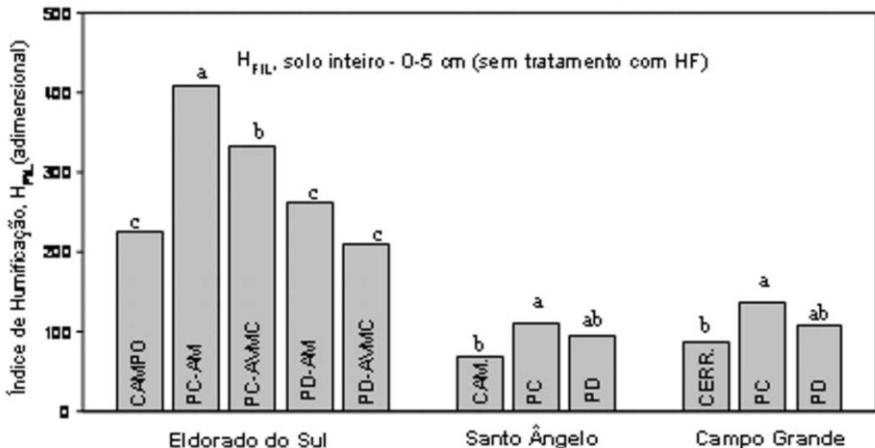


Fig. 2 - Índice de humificação H_{FIL} obtido a partir da técnica de fluorescência induzida por laser (FIL) das amostras de solo inteiro da camada de 0-5 cm. Para um mesmo local, os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem significativamente segundo o Teste de Tukey ($P < 0,05$). PC: preparo convencional; PD: plantio direto; AM: aveia/milho; AVMC: aveia + vica/milho + caupi; CAM.: campo nativo; CERR.: cerrado.

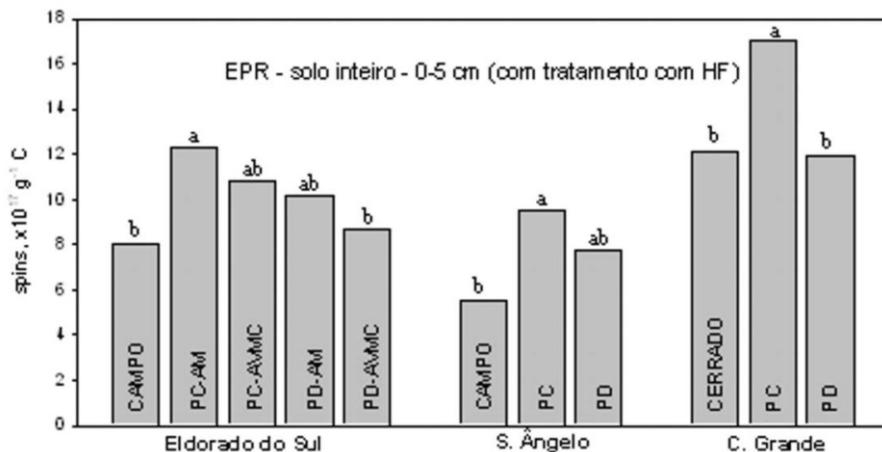


Fig. 3 - Concentração de radicais livres semi-quinona (spins), obtido a partir da técnica de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) das amostras de solo inteiro da camada de 0-5 cm. Para um mesmo local, os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem significativamente segundo o Teste de Tukey ($P < 0,05$). PC: preparo convencional; PD: plantio direto; AM: aveia/milho; AVMC: aveia + vicia/milho + caupi; CAM.: campo nativo; CERR.: cerrado.

Esses resultados expressam a influência do preparo convencional em aumentar a recalcitrância da matéria orgânica do solo, expressa aqui pela presença de estruturas de natureza aromática (RIFFALDI e SCHNITZER, 1972). A decomposição preferencial e acelerada das porções mais lábeis da matéria orgânica, como carboidratos, é induzida nesse sistema de preparo em função do intenso revolvimento, resultando assim num incremento relativo de estruturas recalcitrantes. Por outro lado, no sistema plantio direto ocorre a preservação de estruturas mais lábeis, através do mecanismo de proteção física por agregação (SOLLINS et al., 1996).

Nos Latossolos de Santo Ângelo e Campo Grande, o comportamento dos resultados de CPMAS ¹³C RMN, FIL e EPR foi relativamente semelhante ao verificado no Argissolo de Eldorado do Sul. Observou-se, embora nem sempre de forma significativa, a mesma tendência de redução da proporção de C carboidrato (90 a 60 ppm) e C alquil (45 a -10 ppm) e de aumento da proporção de C aromático (160 a 110 ppm) no solo em preparo convencional em relação ao solo de vegetação nativa (Fig. 4 e 5), confirmando a maior recalcitrância da matéria orgânica no solo manejado convencionalmente. Entre os sistemas de preparo, também se observou a tendência do solo manejado sob plantio direto em recuperar as características originais do solo de vegetação nativa, como observado pelo aumento na proporção de C carboidrato (90 a 60 ppm) e diminuição na de C aromático (160 a 110 ppm) em relação ao solo sob preparo convencional (Fig. 4 e 5).

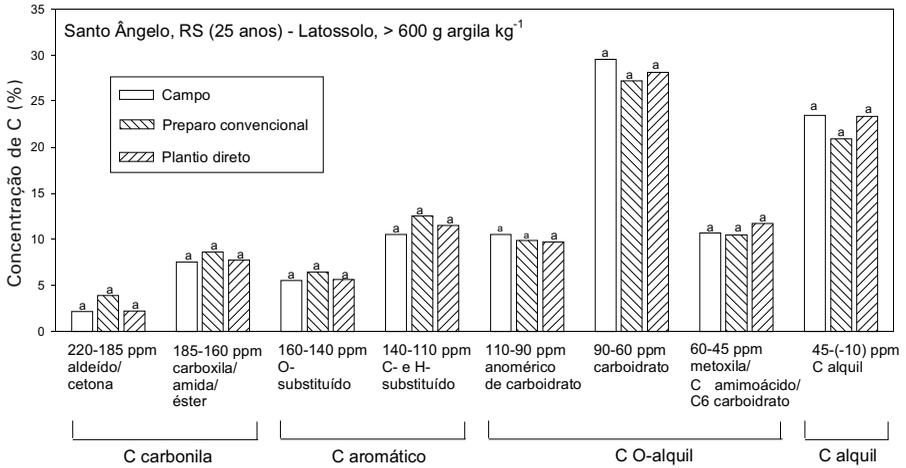


Fig. 4 - Proporção de diferentes tipos de C em função do uso do solo e sistema de preparo no Latossolo de Santo Ângelo. Resultados obtidos por espectroscopia de ressonância magnética nuclear (CPMAS ¹³C RMN). Para um mesmo tipo de C, os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem significativamente segundo o Teste de Tukey ($P < 0,05$).

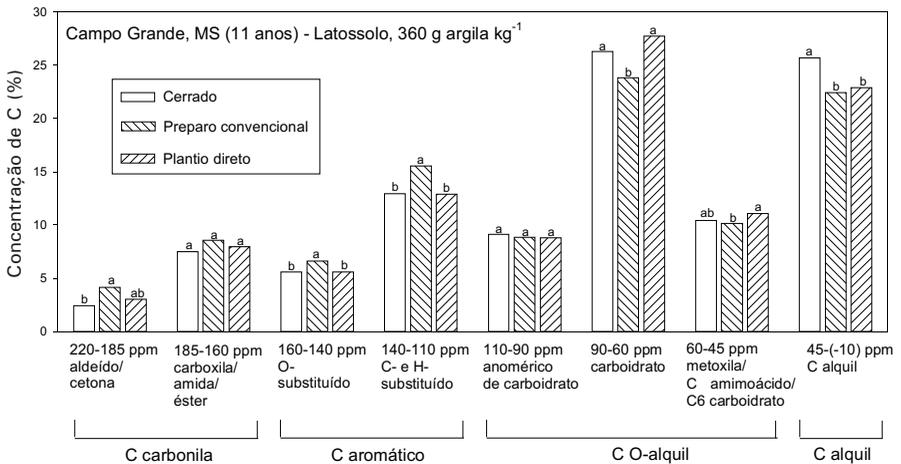


Fig. 5 - Proporção de diferentes tipos de C em função do uso do solo e sistema de preparo no Latossolo de Dourados. Resultados obtidos por espectroscopia de ressonância magnética nuclear (CPMAS ¹³C RMN). Para um mesmo tipo de C, os tratamentos cujas barras possuem a mesma letra no topo não diferem significativamente segundo o Teste de Tukey ($P < 0,05$).

Também nesses Latossolos o índice de humificação H_{FIL} (Fig. 2) e a concentração de radicais livres (Fig. 3) foram maiores no solo preparado convencionalmente em relação ao sob vegetação nativa, enquanto aquele manejado sob plantio direto apresentava características intermediárias.

Outros trabalhos com CPMAS ^{13}C RMN, sobre ácidos húmicos extraídos da camada superficial do solo (até 5 cm de profundidade), possuem conclusões distintas com relação ao efeito do sistema de preparo. Enquanto Stearman et al. (1989), num experimento de 7 anos, concluem não haver diferença entre a qualidade dos ácidos húmicos do solo em função do sistema de preparo, Ding et al. (2002) observaram maior aromaticidade e menor proporção de C O-alquil (carboidrato) nos ácidos húmicos do solo sob preparo convencional em relação ao sob plantio direto, após 20 anos de manejo. Talvez o tempo seja a variável que explique essa diferença de resultados entre os dois trabalhos, de maneira que alterações na qualidade da matéria orgânica em função do tipo de preparo do solo se tornem mais perceptíveis com o passar do tempo, como observado no trabalho de Ding et al. (2002).

Através do emprego da espectroscopia de EPR sobre ácidos húmicos da camada de 0-2,5 cm, Bayer et al. (2002) encontraram maior concentração de radicais livres semiquinona e, conseqüentemente, maior grau de aromaticidade no solo preparado convencionalmente em relação ao solo sob plantio direto, concordando com o resultado de CPMAS ^{13}C RMN obtido por Ding et al., (2002). Resultados semelhantes também foram obtidos por espectroscopia de fluorescência em solução, de maneira que a intensidade do sinal de emissão de fluorescência foi maior no solo sob preparo convencional, indicando a presença de maior quantidade de estruturas aromáticas condensadas (BAYER et al., 2002).

Num trabalho pioneiro com FIL, Milori et al. (2005) também encontraram menor sinal de fluorescência e índice HFIL para solos manejados sob plantio direto em relação aos sob preparo convencional, principalmente nas camadas até 10 cm de profundidade. Tais resultados também foram coerentes com aqueles obtidos por fluorescência em solução de ácidos húmicos e demonstram a natureza mais lábil da matéria orgânica no plantio direto.

Conclusões

A análise da MO do solo usando conjuntamente técnicas de CP MAS ^{13}C RMN ^{13}C , FIL e EPR demonstrou um grande potencial na avaliação da recalcitrância molecular da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de uso e manejo de solo. As características espectroscópicas da matéria orgânica do solo são afetadas pelos sistemas de preparo, seja em solos subtropicais do Sul do Brasil, como em solos tropicais da região do Cerrado brasileiro tanto na região subtropical como de cerrado. Solos manejados sob plantio direto possuem

matéria orgânica com natureza mais lábil, conferida possivelmente pela presença de estruturas vegetais na fração particulada, enquanto que solos sob preparo convencional possuem matéria orgânica com natureza mais recalcitrante (aromática), em função da decomposição acelerada e preferencial das estruturas mais lábeis.

A maior labilidade é um indicativo da melhor qualidade dos solos manejados sob plantio direto, pois essa característica, além de refletir a eficiência do mecanismo de proteção física da matéria orgânica através da agregação, indica que os fluxos de matéria e energia nos solos sob plantio direto são mais lentos, tendendo para uma situação que favorece o acúmulo de matéria orgânica, com potencial efeito dessa prática na mitigação da concentração de C atmosférico.

Referências Bibliográficas

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**, Amsterdam, v.105, p.81-92, 2002.

DING, G.; NOVAK, J. M.; AMARASIRIWARDEMA, D.; HUNT, P. G.; XING, B. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, p.421-429, 2002.

MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOE, J.; GONZALÉZ-PÉREZ, M.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 2005. (no prelo).

RIFFALDI, R.; SCHNITZER, M. Electron spin resonance spectroscopy of humic substances. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.36, p.301-305, 1972.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls **Geoderma**, Amsterdam, v.74, p.65-105, 1996.

STEARMAN, G. K.; LEWIS, R. J.; TORTORELLI, L. J.; TYLER, D. D. Characterization of humic acid from no-tilled and tilled soils using carbon-13 nuclear magnetic resonance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.744-749, 1989