

Documentos

ISSN 1518-7179
Dezembro, 2004

12

Sistemas Conservacionistas de Preparo do Solo e Implicações no Ciclo do Carbono



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

José Amauri Dimázio
Presidente

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Luis Fernando Rigato Vasconcellos

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca

Hebert Cavalcante de Lima

Mariza Barbosa

Diretores

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ladislau Martin Neto
Chefe-Geral

Álvaro Macedo da Silva
Chefe-Adjunto de Administração

Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Ricardo Yassushi Inamasu
Gerente da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

ISSN 1518-7179

Dezembro, 2004

Documentos 12

Sistemas Conservacionistas de Preparo do Solo e Implicações no Ciclo do Carbono

Jeferson Dieckow
Cimélio Bayer
Ladislau Martin-Neto
João Mielniczuk

São Carlos, SP
2004

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.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso

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. Rubens Bernardes Filho

Revisor de texto: Valéria de Fátima Cardoso

Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso

Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane

Foto da Capa: Julio C. Salton (Embrapa Agropecuária Oeste)

Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2004): 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

Dieckow, Jeferson

Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono / Jeferson Dieckow, Cimélio Bayer, Ladislau Martin-Neto, João Mielniczuk. -- São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17 p. -- (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos; n.12).

1. Preparo do solo. 2. Seqüestro de carbono. 3. Mineralização. 4. Consumo de combustível. 5. Erosão. I. Bayer, Cimélio. II.. Martin-Neto, Ladislau. III. Mielniczuk, João. IV. Título. V. Série.

CDD (21. Ed.) 631.4

© Embrapa 2004

Autores

Jeferson Dieckow

Doutor, Eng. Agrônomo,
Pós-doutorando CNPq na Embrapa Instrumentação Agropecuária
jeferson@cnpdia.embrapa.br

Cimélio Bayer

Doutor, Eng. Agrônomo, Faculdade de Agronomia / UFRGS
cimelio.bayer@ufrgs.br

Ladislau Martin Neto

Doutor, Físico, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
martin@cnpdia.embrapa.br

João Mielniczuk

Doutor, Eng. Agrônomo, Faculdade de Agronomia / UFRGS
miel@vortex.ufrgs.br

Apresentação

A Embrapa Instrumentação Agropecuária, é um dos centros temáticos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), caracterizando-se como uma instituição de ciência e tecnologia em instrumentação, voltada principalmente para a geração de resultados que possam contribuir para o agronegócio brasileiro, por meio de geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias em instrumentação.

Desde sua criação em novembro de 1984, na cidade de São Carlos - SP, a Embrapa Instrumentação Agropecuária tem se caracterizado pela interdisciplinaridade na utilização e produção de conhecimentos de fronteira. As aplicações são em variados temas como ciência do solo, meio ambiente, biotecnologia, fruticultura, pós-colheita, novos materiais, agricultura de precisão, agricultura e agroindústria familiar, automação de processos e qualidade de produtos e matérias-primas.

A maioria de seus pesquisadores é constituída por doutores credenciados como orientadores externos nos diversos programas de pós-graduação da Universidade de São Paulo - USP, campus São Carlos, e Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, o que possibilita a orientação e formação de recursos humanos em área inovadora como a instrumentação agropecuária.

Ladislau Martin Neto
Chefe Geral

Sumário

Apresentação	5
Introdução	7
Preparo do Solo e Mineralização da Matéria Orgânica	9
Proteção física	10
Interação organomineral	12
Recalcitrância molecular	13
Preparo do Solo e Queima de Combustíveis Fósseis	14
Preparo do Solo e Erosão	15
Conclusões	16
Referências Bibliográficas	16

Sistemas Conservacionistas de Preparo do Solo e Implicações no Ciclo do Carbono

Jeferson Dieckow
Cimélio Bayer
Ladislau Martin-Neto
João Mielniczuk

Introdução

O ciclo do carbono (C), como qualquer ciclo biogeoquímico, consiste em *reservatórios, fluxos e processos* (transformações). Os *processos*, influenciados por uma série de fatores, geram os *fluxos* entre os reservatórios, fazendo o ciclo funcionar. O solo é um *reservatório* de C e o sistema de manejo um fator que influencia vários *processos* determinantes dos *fluxos* de entrada e saída de C do solo. Compreender melhor a relação entre o sistema de manejo do solo e o ciclo do C justifica-se por duas razões básicas. A primeira, conhecida de longa data, é que o C é o elemento presente em maior concentração na matéria orgânica do solo (MOS), geralmente 58%, e por isso tem um papel fundamental nas funções que a MOS exerce sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, por conseguinte, sobre a qualidade do solo. A segunda razão, baseada em recentes discussões sobre os *processos* de mudanças climáticas globais, diz respeito ao fato do C ser constituinte de importantes gases causadores do efeito estufa, como CO₂ e CH₄. Conhecendo melhor a relação entre o manejo do solo e o ciclo do C, é possível estabelecer sistemas de manejo que maximizem os fluxos de entrada e minimizem os fluxos de saída de C do solo. Isso é uma forma racional e eficiente de garantir tanto a produção de alimentos, através da melhoria da qualidade do solo, como a mitigação do efeito estufa, através do seqüestro de C atmosférico.

O C está presente em quatro grandes *reservatórios*: hidrosfera, geosfera, atmosfera e biosfera (Fig. 1). A hidrosfera é o maior reservatório, com 38000 Pg de C (1 Pg = 10¹⁵ g = 1 bilhão de toneladas), principalmente na forma de carbonatos, seguida da geosfera, com um estoque em torno de 7500 Pg, distribuídos no solo (2500 Pg) e na litosfera (500 Pg em rochas carbonatadas e 4500 Pg em material fossilizado, como carvão e petróleo). No estoque de 2500 Pg de C no solo estão incluídos tanto os estoques de C orgânico (1550 Pg) como inorgânico (950 Pg). Os menores *reservatórios* são a atmosfera (760 Pg) e a biosfera (560 Pg). O gás CO₂ representa a forma mais abundante de C atmosférico, seguido de CH₄ e outros compostos menos expressivos. O C na biosfera está contido em estruturas orgânicas de plantas, animais e microrganismos. As plantas e outros organismos clorofilados possuem um papel vital no ciclo do C, que é a elaboração de compostos orgânicos a partir de C-CO₂, através do processo bioquímico da fotossíntese.

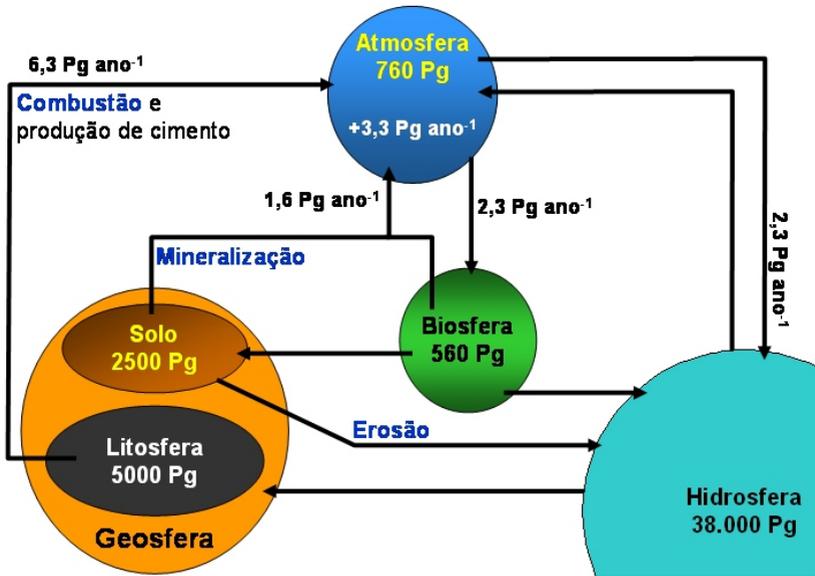


Fig. 1. Representação simplificada do ciclo do C e seus principais reservatórios e fluxos. Baseado em dados de IPCC (2000) e Lal (2004b).

O crescente consumo de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e a conversão de áreas nativas em lavouras ou pastagens têm aumentado os *fluxos* de C da geosfera para a atmosfera. Desde o início da Revolução Industrial, em torno de 1750, até 1999, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou de 270 ppmv para 367 ppmv (IPCC, 2001), intensificando de forma expressiva o efeito estufa e o conseqüente aquecimento global. A queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento são as principais fontes de emissão de C para a atmosfera. Na década de 1990, essas fontes emitiam, juntas, 6,3 Pg C ano⁻¹ (Fig. 1). Essa emissão de C por queima de combustíveis fósseis e produção de cimento somada à emissão de 1,6 Pg C ano⁻¹ proveniente dos sistemas terrestres solo e biosfera, totalizou uma emissão global de 7,9 Pg C ano⁻¹. O incremento anual líquido no estoque de C da atmosfera foi de 3,3 Pg C ano⁻¹, enquanto que 2,3 Pg C ano⁻¹ eram seqüestrados pela hidrosfera (Fig. 1). Para fechar o balanço nos fluxos de C, estimou-se que 2,3 Pg C ano⁻¹ eram transferidos da atmosfera para os sistemas terrestres (Fig. 1).

Geralmente os solos agrícolas são considerados como fonte de C para a atmosfera, um paradigma que se estabeleceu em função das acentuadas perdas de C por mineralização causadas por sistemas convencionais de preparo do solo. Desde o início da Agricultura, as perdas de matéria orgânica do solo são.

responsáveis pela emissão de aproximadamente 78 Pg C para a atmosfera (LAL, 2004b). No entanto, os solos agrícolas podem assumir um outro papel no ciclo do C se práticas adequadas de manejo forem adotadas, como a redução do preparo do solo, a adoção de sistemas de culturas com elevado aporte de resíduos, a correção da acidez e adubação, etc. Nesse caso, estima-se que solos agrícolas podem sequestrar entre 0,4 e 0,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ num período de 20-50 anos, e com isso recuperar entre 50% e 66% da perda histórica de 78 Pg de C (LAL, 2004b)

O sistema de preparo do solo interfere principalmente em três *processos*, afetando conseqüentemente vários *fluxos* do ciclo do C. O primeiro processo, talvez o mais importante, é a mineralização da MOS, que interfere no *fluxo* de emissão de C do solo para a atmosfera. O segundo processo é a queima de combustíveis fósseis durante as operações de preparo, que interfere no *fluxo* de emissão de C da litosfera (petróleo) para a atmosfera. O terceiro processo é a erosão, que atua no *fluxo* de C do solo para a hidrosfera e, de forma indireta, sobre o *fluxo* de C da hidrosfera para a atmosfera, caso a matéria orgânica dos sedimentos for mineralizada. Esses três *processos* estão representados na Fig. 1 e serão discutidos na seqüência.

Preparo do Solo e Mineralização da Matéria Orgânica

O estoque de MOS depende da magnitude dos fluxos de entrada e de saída de C do solo. A variação anual no estoque de C do solo é expressa pela equação

$$\Delta C = k_1 A - k_2 C,$$

onde k_1 representa a taxa anual de conversão do C do resíduo vegetal em MOS; A representa a adição anual de C na forma de resíduos vegetais; k_2 expressa a taxa anual de mineralização da MOS; e C refere-se ao estoque atual de C no solo. A taxa k_1 é controlada por características intrínsecas do resíduo, como por exemplo sua relação lignina/N (quanto maior essa relação, maior é o valor de k_1). A adição A depende do sistema de culturas empregado, onde sistemas baseados em gramíneas e leguminosas com elevada produção de fitomassa são os preferenciais. A taxa de mineralização k_2 depende do clima e dos mecanismos de proteção da MOS. Em ambientes com precipitação e temperatura mais elevadas, como nas regiões tropicais úmidas, a taxa k_2 é maior do que em regiões secas e frias, em decorrência da maior atividade decompositora dos microrganismos.

A proteção da MOS é o conjunto de processos, exceto climáticos, que diminuem a taxa de mineralização da MOS promovida por microrganismos. Existem basicamente três mecanismos de proteção: proteção física, interação organomineral e recalitrância molecular.

Proteção física

A proteção física é exercida pelos agregados do solo. A matéria orgânica particulada (MOP), definida como fragmentos orgânicos de tamanho $> 0,45 \mu\text{m}$ e que ainda possuem vestígios de estruturas celulares (ex., fragmentos de raízes, hifas, insetos, etc.), é protegida principalmente por proteção física. Essa proteção ocorre pela: (i) redução da taxa de difusão de O_2 no interior dos agregados, diminuindo assim a intensidade dos processos oxidativos sobre a MOS, e (ii) pela ação dos agregados em servir como barreiras físicas que dificultam o acesso dos microrganismos, ou suas enzimas, ao substrato orgânico. Com a destruição dos agregados do solo causada pelo preparo, a MOS fica mais exposta aos microrganismos e suas enzimas, cuja atividade encontra-se intensificada em função das condições mais oxidadas do ambiente. O resultado disso é a diminuição nos estoques de C em solos sob preparo convencional em relação à condição original (Fig. 2) e o conseqüente aumento da emissão de CO_2 para a atmosfera. O contrário ocorre em solos manejados sob plantio direto. Num estudo realizado por Bayer et al. (2002), o estoque de MOP na camada de 0-17,5 cm de um Argissolo sobre o sistema de culturas aveia + vica/milho + caupi foi 36% superior no plantio direto (9 anos) em relação ao preparo convencional. O mínimo revolvimento permite a manutenção da estrutura do solo e, conseqüentemente, de seus agregados por um período maior de tempo. Isso aumenta consideravelmente a eficiência do mecanismo de proteção física da matéria orgânica e, portanto, os estoques de C e o potencial de seqüestro de C- CO_2 atmosférico em solos manejados sob plantio direto (Fig. 2).

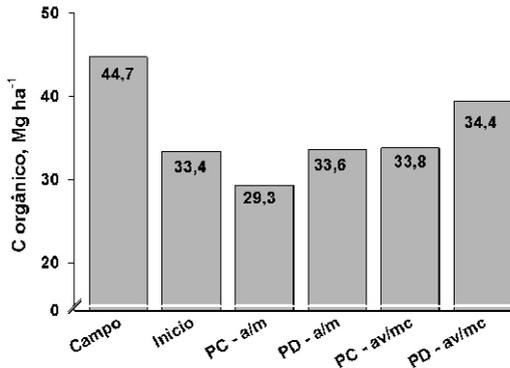


Fig. 2. Estoque de C orgânico na camada de 0-20 cm de um Argissolo Vermelho distrófico (22 % de argila) em função de sistemas de preparo (PC: preparo convencional, PD: plantio direto) e sistemas de culturas (a/m: aveia preta/milho, av/mc: aveia preta + ervilhaca/milho + caupi) conduzidos por 18 anos. "Campo" refere-se à vegetação nativa até 1969 e "Início" ao estabelecimento do experimento em 1985. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul RS. Adaptado de Zanatta (2004), PPG Ciência do Solo UFRGS (dados não publicados).

Camadas mais profundas do solo, em função da baixa difusão de O_2 e por não serem revolvidas, também exercem proteção física sobre a MOS. Incrementos no estoque de C em camadas abaixo de 20 ou 30 cm de profundidade foram observados por Sisti et al (2004) e Diekow et al (2004) em solos sob plantio direto (Fig. 3). No trabalho de Sisti et al. (2004), 68 % da diferença de estoque de C entre plantio direto e preparo convencional no 13^o ano do experimento ocorreu nas camadas entre 30 cm e 100 cm de profundidade (Fig. 3a). Diekow et al. (2004), comparando dois sistemas de culturas sob plantio direto por 17 anos, observaram que 42 % dos ganhos totais de C no sistema de culturas guandu + milho, de elevada adição de resíduos, em relação ao sistema referência aveia/milho, ocorreu entre 17,5 cm e 107,5 cm de profundidade (Fig. 3b). Três hipóteses relacionadas ao solo sob plantio direto são sugeridas: (i) o crescimento de raízes estaria sendo maior por não existirem camadas adensadas de impedimento; (ii) o transporte de resíduos em profundidade seria intensificado pela maior atividade da fauna edáfica (insetos, minhocas, etc.); e (iii) a formação de canais contínuos possibilitaria maior lixiviação de compostos orgânicos solúveis para as camadas mais profundas. No entanto, no solo sob preparo convencional, a incorporação dos resíduos em camadas mais profundas também pode se tornar uma forma de proteção física da matéria orgânica.

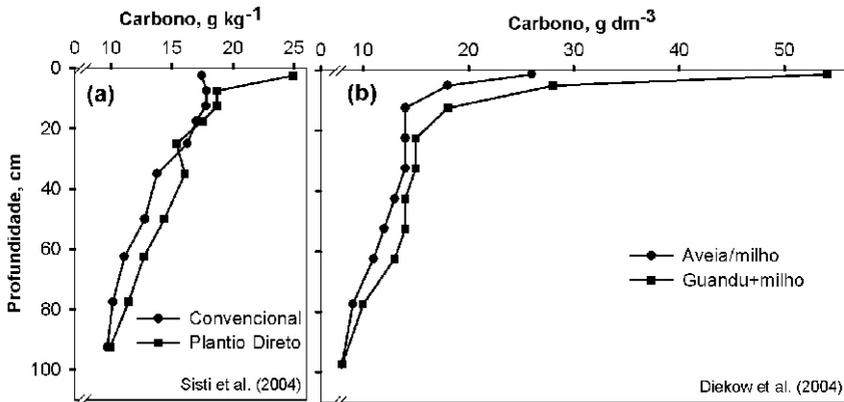


Fig. 3. Concentração de C orgânico em função do (a) sistema de preparo do solo, num Latossolo Vermelho (Embrapa Trigo, Passo Fundo RS), e do (b) sistema de culturas em plantio direto, num Argissolo Vermelho (EEA/UFRGS, Eldorado do Sul RS). Adaptado de Sisti et al (2004) e Diekow et al (2004).

Diferente do processo de mineralização da matéria orgânica em solos bem drenados, que resulta na liberação CO_2 , a mineralização em solos alagados, devido às condições mais anaeróbicas do meio, resulta também na formação de metano (CH_4), cujo potencial em promover o aquecimento global é 23 vezes maior em relação ao CO_2 (IPCC, 2000). Num experimento com a cultura do Arroz irrigado, Costa et al (2004) observaram, durante um ciclo de cultivo da

cultura, que a emissão de C-CH₄ no solo preparado convencionalmente foi 33% superior à emissão no solo sem preparo (Fig. 4), evidenciando o potencial do plantio direto em mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa mesmo em condições de solos alagados.

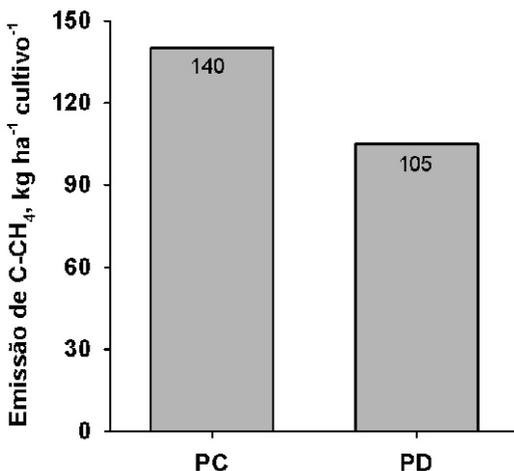


Fig. 4. Emissão de metano (C-CH₄) durante um ciclo de cultivo de arroz irrigado (safra 2002/03) num Gleissolo franco em função de sistemas de preparo do solo (PC = preparo convencional; PD = plantio direto). IRGA, Cachoeirinha RS. Adaptado de Costa et al (2004).

Interação organomineral

O segundo mecanismo de proteção da MOS, a interação organomineral, depende basicamente da textura e mineralogia do solo, sofrendo pouca ou nenhuma influência do sistema de preparo. Quanto maior a área superficial específica (ASE) das partículas minerais do solo e quanto maior a densidade de grupos funcionais (-O⁻, -OH, -OH⁺) nessas superfícies minerais, maior é a interação organomineral. Solos argilosos tendem a possuir maior ASE que solos arenosos. Solos com elevada concentração de minerais do tipo 2:1 expansivos (como nos Vertissolos) ou de óxidos de ferro e alumínio (como nos Latossolos) tendem a possuir maior densidade de grupos funcionais de superfície. Assim como a textura do solo influencia na interação organomineral, ela também é um fator que interfere na proteção física por agregação, pois determina maior ou menor estabilidade dos agregados. O resultado dessa interferência da textura sobre a interação organomineral e agregação torna a matéria orgânica de solos argilosos menos vulnerável a mineralização do que a de solos mais arenosos. Comparando-se a influência dos sistemas de preparo em dois experimentos de longa duração localizados na mesma região climática (Cfa, Köppen), um porém em solo fraco argilo arenoso (Fig. 2) e outro em solo argiloso (Fig. 5), percebe-se que a diferença no estoque de C entre preparo

convencional (PC) e plantio direto (PD) tende a ser proporcionalmente maior no solo com textura mais arenosa (Fig. 2). Solos arenosos possuem menor “resistência” em termos de variação dos estoques de C, sendo o efeito das práticas convencionais de preparo mais prejudicial nesses solos do que em solos argilosos.

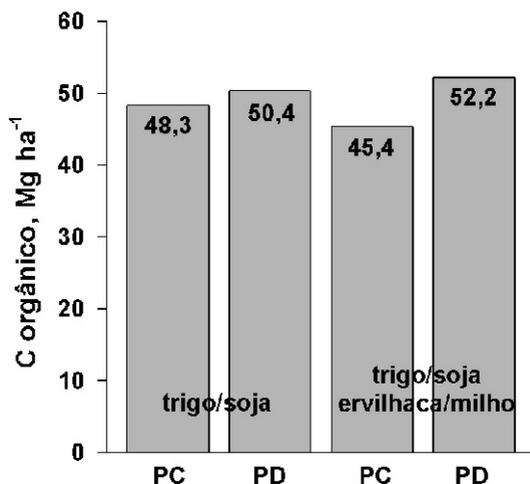


Fig. 5. Estoque de C orgânico na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distrófico (63 % de argila) em função de sistemas de preparo e sistemas de culturas conduzidos por 13 anos. Embrapa Trigo, Passo Fundo RS. Adaptado de Sisti et al (2004).

Recalcitrância molecular

A recalcitrância molecular, por sua vez, aumenta a estabilidade química das moléculas (ou supramoléculas) orgânicas do solo. Grupos aromáticos, presentes principalmente na lignina, em função da maior energia em suas ligações químicas, são mais resistentes à ação mineralizadora de microrganismos e suas enzimas e por isso mais recalcitrantes do que grupos alifáticos, como por exemplo carboidratos (celulose, hemicelulose, etc.). Compostos de caráter anfifílico, que possuem porções polares e apolares na mesma molécula (ou supramolécula), como por exemplo aqueles de natureza alquímica, também podem possuir maior recalcitrância molecular. Seria correto pensar que o grau de proteção da MOS é maior caso o sistema de preparo do solo favorecesse o acúmulo de matéria orgânica mais aromática ou com maior concentração de estruturas alquímicas. Resultados de estudos com técnicas espectroscópicas de caracterização da matéria orgânica não convergem para uma mesma conclusão com relação ao efeito de sistemas de preparo. Existe uma tendência, entretanto, em se acreditar que o sistema de preparo não interfere na composição química da MOS e, conseqüentemente, no seu grau de proteção

por recalitrância. Isso é exemplificado nos resultados de espectroscopia de RMN ^{13}C (Tabela 1), onde a concentração dos diferentes tipos de C entre plantio direto e preparo convencional é muito similar num mesmo tipo de solo. A recalitrância parece estar mais relacionada com as características do resíduo adicionado ao solo de forma que o sistema de culturas teria um papel mais destacado do que o sistema de preparo.

Tabela 1. Concentração de diferentes tipos de C da MOS da camada de 0-2,5 cm de um Argissolo Vermelho (Eldorado do Sul RS) e de um Latossolo Bruno (Guarapuava PR) em função do sistema de preparo (preparo convencional e plantio direto). Avaliação realizada através de ressonância magnética nuclear do ^{13}C (CPMAS- ^{13}C NMR).

Tratamentos	Tipo de carbono			
	C Alquil	C O-alquil	C Aromatico	C Carbonila
<i>Argissolo</i> ⁽¹⁾	----- % -----			
Plantio direto	23	46	15	14
Preparo convencional	25	44	16	14
<i>Latossolo</i> ⁽²⁾				
Plantio direto	22	41	21	15
Preparo convencional	25	39	21	14

(1) Sistema de culturas: aveia / milho.

(2) Rotação com várias espécies: trigo, aveia branca, cevada, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, no inverno; e soja e milho, no verão.

Fonte: Adaptado de Andrade (2004), PPG Ciência do Solo UFRGS (dados não publicados).

Preparo do Solo e Queima de Combustíveis Fósseis

Por não haverem operações de preparo do solo, o consumo de combustíveis fósseis no sistema plantio direto é consideravelmente menor em relação ao preparo convencional. O óleo Diesel é o principal combustível empregado nas operações de preparo do solo. Seu consumo por área depende, principalmente, do (i) tipo de preparo, (ii) profundidade de operação e (iii) textura do solo.

Segundo um levantamento realizado numa área de 850 mil ha na região de Passo Fundo RS, a quantidade de combustível (óleo diesel) demandada no preparo convencional é $59,3 \text{ l ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ superior à quantidade requerida no plantio direto (Fig. 6). Isso significa uma emissão adicional de aproximadamente $45 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no preparo convencional, considerando que o óleo diesel tenha uma densidade de $0,9 \text{ kg dm}^{-3}$ e que sua concentração de C seja 85% (média de 16 átomos de C nas moléculas do hidrocarboneto). Esse valor de $45 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ representa quase 10% e 13% do potencial de seqüestro de C estimado para o plantio direto nas regiões subtropicais ($0,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$) e tropicais ($0,35 \text{ Mg C ha}^{-1}$) do Brasil, respectivamente (BAYER et al., 2004). Para condições de clima temperado, Lal (2004a,c) estimou uma emissão adicional de $30\text{-}40 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ cultivo}^{-1}$ no preparo convencional em relação ao plantio direto.

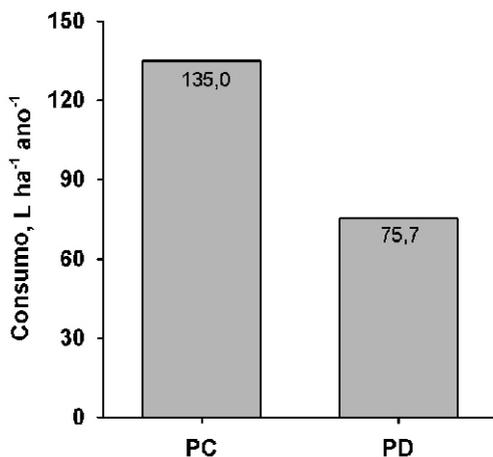


Fig. 6. Consumo anual de óleo diesel em função do sistema de preparo do solo. Sistema de culturas constituído de 1/3 trigo, 1/3 aveia e 1/3 ervilhaca, no inverno, e 1/3 milho e 2/3 soja, no verão. Região de Passo Fundo RS. Fonte: Embrapa Trigo (1997).

Preparo do Solo e Erosão

Geralmente as perdas de solo, e conseqüentemente de C, por erosão são maiores em áreas manejadas sob preparo convencional comparadas às de áreas sob preparo reduzido ou plantio direto. As operações de aração e gradagem eliminam quase que totalmente a cobertura do solo além de destruir uma significativa proporção de macroagregados estáveis e com isso aumentar a erodibilidade do solo.

A perda de carbono por erosão diminui consideravelmente a qualidade do solo de onde o C é perdido e dos reservatórios hídricos para onde as enxurradas escoam. Em termos de seqüestro de C, ainda não está esclarecido se a erosão contribui como uma fonte ou dreno de C. As escassas informações referentes ao assunto são insuficientes para uma conclusão definitiva. Uma corrente de pesquisadores, onde se enquadram muitos geólogos, acreditam que a erosão contribui para o seqüestro de carbono (VAN OOST et al, 2004; RENWICK et al, 2004). A remoção da camada superficial do solo por erosão, camada essa mais concentrada em C, estaria expondo uma camada subjacente de menor concentração de C. Essa camada teria, após o restabelecimento das adições, um potencial maior de acumular C que a camada superior removida, cujo estoque de C, por ser mais elevado, já estaria mais próximo do estoque de estado estável (estaria mais saturada). Devido a esse processo e ao fato do C localizado abaixo de 20 cm de profundidade nos depósitos coluviais ser considerado como protegido fisicamente, estima-se que a erosão contribuiria com o seqüestro de 0,6 a 1,5 Pg C ano⁻¹ (STALLARD et al, 1998).

Outra corrente, onde se enquadram os Cientistas de Solo, acredita que a erosão contribuiria com uma emissão anual de $1,0 \text{ Pg C ano}^{-1}$ (LAL, 2003). A energia cinética das gotas da chuva e a força de enxurrada promovem o rompimento dos agregados, liberando o material orgânico protegido internamente. A erosão é um processo seletivo, onde o transporte de partículas de menor densidade, como a MOP, é mais intenso que o de partículas mais densas, como as dos minerais. Após o transporte, a MOP tende a se redistribuir na superfície da área ou ficar na camada superficial (0-20 cm) dos depósitos colúviais. Isso significa que sua proteção física é muito baixa ou praticamente inexistente, podendo ser facilmente mineralizada pelos microrganismos (LAL et al, 2004). O resultado seria portanto uma taxa maior de emissão líquida de C para a atmosfera.

Apesar da discussão se a erosão contribui para emissão ou seqüestro de C, o fato é que ela é extremamente prejudicial para a qualidade do solo. Mesmo que ela resulte em seqüestro de C, estaria longe de ser uma forma racional e sustentável de se mitigar os problemas de mudanças climáticas globais.

Conclusões

Sistemas conservacionistas de preparo do solo, como o plantio direto, diminuem as taxas de mineralização da matéria orgânica e o consumo de combustíveis fósseis, diminuindo assim as emissões de C para a atmosfera. Em função das menores taxas de mineralização da matéria orgânica no plantio direto, esse sistema também favorece o acúmulo de C no solo, contribuindo tanto para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como para o sequestro de C atmosférico. Significa que o sistema plantio direto é uma forma sustentável de se praticar a agricultura no intuito de promover tanto a qualidade do solo como a qualidade ambiental.

Embora se conheça o potencial do plantio direto em reduzir as perdas de solo por erosão, ainda não está esclarecida a questão se a erosão é um processo que promove emissão ou sequestro de C.

Referências Bibliográficas

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIEKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2004. no prelo.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on subtropical soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.238, p.133-140, 2002.

COSTA, F.S.; LIMA, M.A.; BAYER, C.; FRIGHETTO, R.T.S.; BOHNEN, H.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. Methane emission from a southern Brazilian rice paddy field under conventional and no-tillage systems. In: MARTIN-NETO, L.;

MILORI, D.M.B.P.; SILVA, W.T.L. da. **Humic substances and soil and water environment**. International Meeting of IHSS, 12. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. p. 27-29.

DIEKOW, J., MIELNICZUK, J., KNICKER, H., BAYER, C., DICK, D.P., KÖGEL-KNABNER, I. 2004. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2004. no prelo.

EMBRAPA TRIGO. Informações de relatórios de pesquisa da Unidade, fornecidas pelo Dr. José A. Portella, 1997.

IPCC. **Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 375p. (Special Report).

IPCC. **Climate Change: The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881p.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, New York, v.29, p.437-450, 2003.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, New York, v.30, p.981-990, 2004a.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, p.1-22, 2004b.

LAL, R. Soil erosion and carbon dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2004c. no prelo.

LAL, R.; GRIFFIN, M.; APT, J.; LAVE, L.; MORGAN, G. Response to comments on "Managing soil carbon". **Science**, [S.l.], v.305, p.1567, 2004d.

RENWICK, W.H.; SMITH, S.V.; SLEEZER, R.O.; BUDDENIER, R.W. Comments on managing soil carbon (ii). **Science**, [S.l.], v.305, p.1567, 2004.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.76, p.39-58, 2004.

STALLARD, R.F. Terrestrial sedimentation and carbon cycle: coupling weathering and erosion to carbon burial. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.12, p.231-257, 1998.

VAN OOST, K.; GOVERS, G.; QUINE, T.A.; HECKRATH, G. Comments on managing soil carbon (i). **Science**, [S.l.], v.305, p.1567, 2004.