

## **Capítulo 3**

# **Matéria Orgânica do Solo**

Vinícius de Melo Benites

Beáta Madari

Alberto Carlos Campos Bernardi

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

## Introdução

Matéria orgânica é toda substância própria dos compostos de carbono, contrapondo-se à matéria inorgânica, que é relativa aos compostos de qualquer elemento, exceto carbono. Assim, para ilustrar, a carne de boi, como tem carbono na sua constituição, é matéria orgânica. Já o sal de cozinha, que se constitui de sódio (Na) e cloro (Cl), é uma substância inorgânica. A matéria orgânica do solo (MOS), por sua vez, refere-se a todas as matérias ou substâncias vivas e mortas do solo que contenham compostos de carbono. Logo, tudo o que não for mineral no solo é orgânico e, portanto, constitui a MOS.

A matéria orgânica do solo é um componente chave em qualquer ecossistema terrestre, e uma variação em sua quantidade e nas suas características pode causar importante efeito sobre muitos processos que ocorrem nesse sistema. A MOS apresenta um importante papel na retenção de nutrientes, estruturação e retenção de umidade em solos tropicais, além de representar um importante papel de fixação de  $\text{CO}_2$  atmosférico, reduzindo os problemas de mudança climática. Em suma, nenhum solo funciona sem matéria orgânica, principalmente nos trópicos onde a porção mineral é de baixa qualidade quando comparada aos minerais encontrados em regiões temperadas. No sudoeste da Amazônia, naqueles solos onde predominam minerais de alta atividade de argila, a matéria orgânica pode desempenhar ainda importantes

papéis na ciclagem de nutrientes, cuja dinâmica ainda é pouco conhecida. Portanto o manejo da matéria orgânica, visando à conservação e melhorando sua qualidade, é fundamental para a manutenção de sistemas produtivos sustentáveis em ambientes tropicais.

Neste capítulo serão tratados os conhecimentos básicos sobre a matéria orgânica do solo como: origem e composição, importância para o funcionamento do solo e como a prática agrícola pode modificar suas características. Pretende-se, dessa forma, aumentar o conhecimento de técnicos e produtores sobre a MOS, visando a um melhor manejo do solo e assim tornar a agricultura mais sustentável na Amazônia.

## **Origem e Transformações da Matéria Orgânica do Solo**

A MOS tem sua origem a partir de resíduos vegetais e animais que chegam ao solo. Essa entrada pode ser natural, como a queda de folhas e galhos das árvores, a morte de insetos e seres microscópicos que habitam o solo, a decomposição de raízes mortas, a liberação de exudados radiculares, e ainda pela adição de compostos orgânicos solúveis dissolvidos na água que lava as copas e os troncos das árvores após uma chuva. A entrada de MOS pode também ser feita pelo homem, ao adicionar um esterco, um composto, um resíduo orgânico existente em sua propriedade, como lixo doméstico, ou também pela incorporação de adubos verdes ou plantas de cobertura para a formação de palhada.

Nesse caso trata-se de adubação orgânica, tema que será abordado em um capítulo específico deste livro.

Dependendo do tipo de vegetação existente sobre o terreno (floresta, pastagem, cultura) e até mesmo da época do ano (inverno, verão), ocorrem diferentes aportes de matéria orgânica no solo. Embora existam resíduos animais e vegetais, a grande maioria é de origem vegetal, sendo composta principalmente por lignina e celulose. A MOS é formada predominantemente por formas de lignina e celulose, que se encontram no solo em diferentes graus de decomposição. Inúmeros organismos se alimentam desses compostos e produzem outros, tornando o solo vivo e dinâmico. Assim, a MOS tem entre seus compostos a fonte de energia para os organismos vivos do solo e também os resíduos da decomposição causada por esses organismos.

Entre as reações que ocorrem com os resíduos orgânicos, os quais chegam ao solo, há o processo de mineralização, de imobilização e de humificação. Os três processos estão interligados e ocorrem ao mesmo tempo. A mineralização é a transformação de matéria orgânica em gás carbônico, por meio da respiração microbiana, processo no qual há a liberação dos nutrientes contidos na MOS. A mineralização é a principal fonte de nutrientes e energia para a reprodução e o crescimento da comunidade microbiana do solo, a qual é importante visto o seu papel na produção de enzimas e nas transformações químicas que ocorrem no solo,

resultando em associações benéficas com as plantas. Estas plantas também podem absorver nutrientes oriundos da mineralização da MOS (como nitrato, fosfato, cálcio, magnésio, etc.), mas as quantidades são muito variáveis, podendo não atender integralmente à necessidade da planta para seu crescimento.

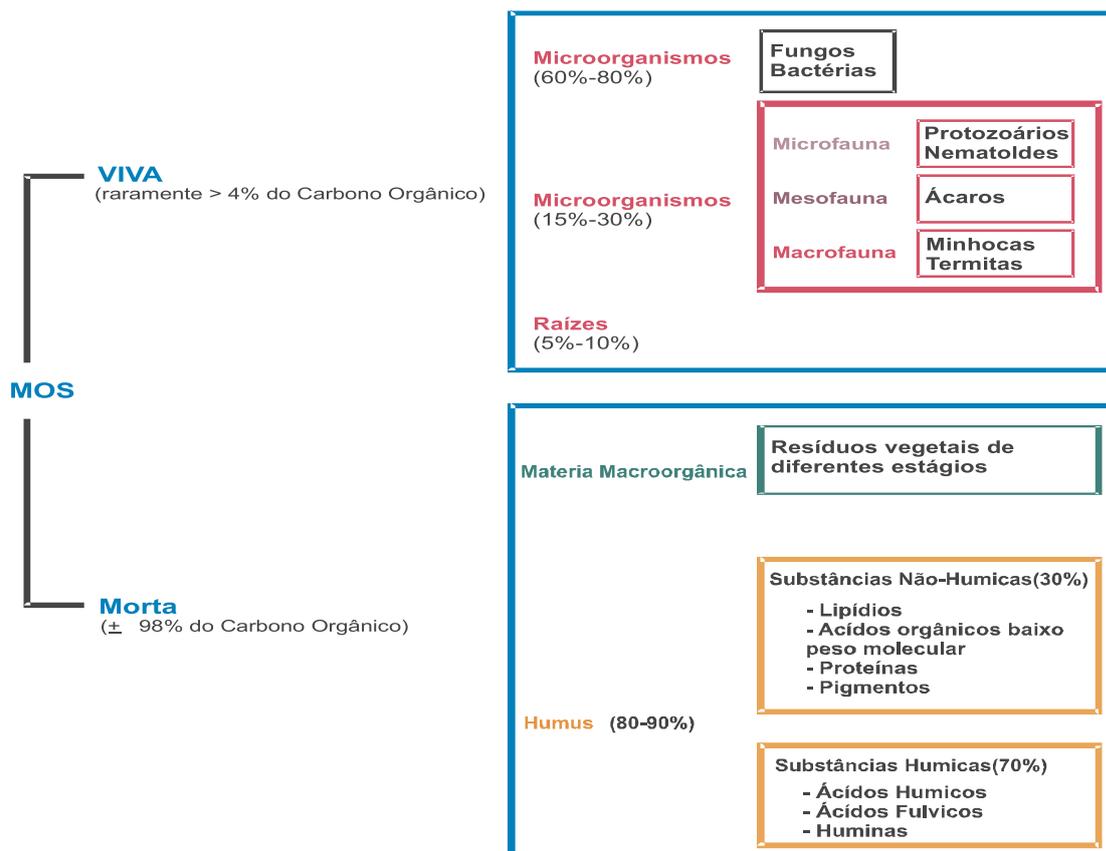
Durante a mineralização da MOS, parte dos compostos orgânicos degradados e alguns nutrientes inorgânicos são incorporados pelos microorganismos para formação de suas células. Deve-se lembrar que esse é um processo dinâmico porque os microorganismos têm vida curta e logo morrerão e terão seus corpos degradados por outros microorganismos, continuando o ciclo dinâmico da MOS.

Finalmente, parte dos compostos que chega ao solo, sobretudo uma porção significativa da lignina, é formada por estruturas químicas resistentes ao ataque dos organismos. Pode-se fazer uma analogia com um animal que morre no pasto: a pele e a carne são consumidas pelos decompositores, restando os ossos que permanecem sobre o solo. Nesse caso, a pele e a carne são a celulose e outras substâncias facilmente degradadas que se encontram em resíduos vegetais; o osso é uma parte da lignina formada por estruturas aromáticas de alta resistência. Essas estruturas deixadas pelos organismos vão se acumulando e se ligando a outros compostos orgânicos de maior resistência no solo, formando as substâncias húmicas. Este processo

chama-se humificação e é responsável pela maior parte da MOS encontrada em todos os solos do planeta, sobretudo os tropicais.

## Composição da Matéria Orgânica do Solo

No solo, a matéria orgânica constitui-se um conjunto complexo de formas químicas, vivas ou mortas (Fig. 1) (Theng et al., 1989). Neste capítulo será tratada em maior detalhe a porção “morta” que representa a maior parte da MOS. A porção “viva”, que trata da biodiversidade do solo, será apresentada em outro capítulo.



**Fig. 1.** Diagrama demonstrando os componentes da matéria orgânica do solo (MOS).

Para ter uma idéia da importância da MOS, alguns trabalhos estimam que no planeta exista três vezes mais carbono na forma de MOS que na forma de biomassa viva (Hayes & Clapp, 2001), ou seja, animais, florestas, algas marinhas, etc.

Embora se atribua uma distribuição percentual média para cada um desses compartimentos (Fig. 1), deve-se considerar que essa distribuição varia de acordo com o tipo de solo, as condições ambientais, o tipo de cobertura vegetal e outros aspectos.

### **Matéria Macroorgânica ou Matéria Orgânica Leve**

A matéria orgânica leve (MOL) é formada por resíduos vegetais na sua forma original ou semidecompostos, ou seja, fragmentos de folhas, galhos, cascas e raízes que se misturam aos solos. O termo “leve” refere-se à baixa densidade desse material que flutua quando se coloca o solo na água. A matéria orgânica leve é composta basicamente de lignina e celulose e é uma importante fonte de energia para organismos do solo. Por tratar-se de restos de vegetais ainda não decompostos, essa fração contém quantidades significativas de cálcio, magnésio, nitrogênio e fósforo, constituindo-se uma fonte desses nutrientes para as plantas.

Formas conservacionistas de agricultura, como sistemas agroflorestais e também sistemas de plantio direto, promovem um aumento da MOL e com isso melhoram a qualidade do solo.

## **Substâncias Húmicas**

As substâncias húmicas são o principal compartimento da MOS (Fig. 1). Esses compostos são resultantes da humificação, que é um dos processos naturais mais importantes para a sustentabilidade da vida na Terra. O processo de humificação na realidade é um somatório de reações que ocorrem no solo, as quais estão diretamente relacionadas as suas características, como fertilidade, aeração, temperatura e umidade. Esses fatores controlam a atividade microbiana e, conseqüentemente, o processo de humificação.

Compreendendo essas reações e como elas são afetadas pelas condições do solo, pode-se determinar qual a melhor forma de manejá-lo visando ao aumento do processo de humificação.

As principais reações do processo de humificação em solos tropicais são relacionadas a transformações oxidativas das ligninas. Ou seja, a lignina, principal componente dos resíduos vegetais, sofre alterações por efeito dos microorganismos e das substâncias por eles produzidas, havendo a formação de grupos contendo oxigênio na molécula, que são responsáveis pela reatividade das substâncias húmicas. Portanto, para promover a humificação, é necessário que sejam mantidas condições do solo favoráveis à atividade dos microorganismos, como boa aeração e umidade adequada.

As cargas presentes na estrutura das substâncias húmicas, produzidas pela atividade microbiana, são

responsáveis pela capacidade de troca catiônica (CTC) e pela interação com as argilas, promovendo a estruturação do solo. Na maioria dos solos brasileiros, de regiões tropicais, onde as argilas apresentam baixa CTC, as cargas de origem orgânica são fundamentais para manter a fertilidade. Em solos arenosos esse papel é ainda mais importante. Daí a preocupação em manejar a MOS promovendo a humificação. No Estado do Acre, principalmente em sua região central e oeste, predominam minerais de argila do tipo 2:1, com elevada CTC. Provavelmente, nesse caso, a matéria orgânica desempenhe papéis ainda pouco conhecidos e que precisam ser esclarecidos para que esses ambientes sejam manejados de forma sustentável.

Por exemplo, estudos têm mostrado que além do importante papel no fornecimento de cargas ao solo, as substâncias húmicas apresentam efeitos fisiológicos sobre plantas e microorganismos. Algumas porções da estrutura destas moléculas participam de reações bioquímicas que favorecem, por exemplo, a germinação de sementes e o crescimento de raízes (Chen & Aviad, 1990). As substâncias húmicas também exercem um importante papel na complexação do alumínio do solo, amenizando os efeitos tóxicos desse elemento sobre as plantas e microorganismos. Esse papel pode influenciar no controle da atividade química do alumínio nos solos do Estado do Acre, pelo fato da elevada acidez tornar instáveis as argilas e liberar grandes quantidades desse elemento na solução do solo.

As substâncias húmicas podem também ser classificadas segundo a sua solubilidade e reatividade, o que de certo modo depende do tamanho de suas moléculas. As moléculas mais solúveis, que normalmente são menores e mais reativas são chamadas de ácidos fúlvicos. As moléculas menos solúveis e relativamente menos reativas, são chamadas de ácidos húmicos e apresentam maior persistência no solo. Existem ainda as huminas, que são moléculas grandes com baixa densidade de cargas e, portanto, pouco solúveis, mas que apresentam um importante papel na formação de agregados no solo.

### **Substâncias Não-húmicas**

Além das substâncias húmicas, uma série de substâncias, dos mais diferentes grupos, pode ser encontrada nos solos. São gorduras, ceras, açúcares, enzimas, ácidos solúveis, mucilagens (polissacarídeos), etc. Essas substâncias são produzidas por microorganismos que vivem no solo ou ainda pelas plantas, na forma de exsudados radiculares ou compostos que se encontravam no interior das folhas em decomposição. Muitos deles são bastante instáveis, de fácil decomposição, como os açúcares e alguns ácidos solúveis. Logo, estes compostos participam da nutrição dos microorganismos, sendo mineralizados e em parte imobilizados. Outras substâncias como mucilagens apresentam um importante papel na estruturação do solo, pois agem como verdadeiros cimentos ligando pequenas partículas de argila, formando os agregados do solo.

Nos solos sob florestas, em virtude da grande quantidade de folhas em decomposição (serrapilheira), ocorrem quantidades relativamente altas de substâncias não-húmicas. Algumas dessas substâncias, como os ácidos solúveis, são responsáveis por carregar nutrientes contidos na serrapilheira para o solo, favorecendo a nutrição da floresta e a ciclagem biogeoquímica. Quando se utiliza um sistema agroflorestal, as culturas anuais podem se beneficiar desse processo, mostrando uma das vantagens do consórcio entre floresta e culturas agrícolas.

As enzimas existentes no solo, sejam elas produzidas por microorganismos ou pelas plantas, apresentam um importante papel na sua fertilidade, pois são capazes de solubilizar nutrientes em formas bastante estáveis, tornando-os disponíveis para a assimilação pelas raízes. No caso específico do fósforo, fortemente adsorvido em solos tropicais com predomínio de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, a ação das enzimas faz a diferença. No futuro, provavelmente será feito o manejo das enzimas do solo em vez de adicionar fertilizantes solúveis como atualmente se faz.

## **Carvões**

Na maioria dos solos tropicais podem-se observar pequenos fragmentos de carvão resultantes de queimas naturais ou feitas pelo homem. Esses carvões são matéria orgânica, pois se compõem de carbono e são uma forma bastante estável de MOS.

Quando estão na forma de fragmentos muito pequenos, os carvões apresentam alguma atividade no sentido de absorver compostos orgânicos solúveis, reter umidade e servem como abrigo para alguns microorganismos do solo. Na Amazônia é muito comum a prática da queima da vegetação, que embora apresente uma série de problemas como a poluição, a destruição da microbiota do solo e de alguns elementos da fauna e flora apresenta o efeito benéfico da incorporação de carvões ao solo. Em alguns países como o Japão, a prática dessa incorporação é tradicional. Estudos mais recentes têm avaliado o efeito da adubação com carvão sobre as propriedades físico-hídricas e químicas do solo (Glasser, 2002).

## **Funções da Matéria Orgânica do Solo**

Como mostrado anteriormente, a MOS apresenta uma série de propriedades que contribui para a melhoria da estrutura e para a manutenção da fertilidade do solo, interagindo com a biota e com a fração mineral (Tabela 1).

## **Efeitos da Matéria Orgânica sobre a Fertilidade do Solo**

A determinação do teor de MOS geralmente é feita de forma indireta, ou seja, os métodos usados determinam o teor de carbono no solo que é multiplicado por um fator para se obter o teor de MOS. Em média, os limites e as classes de interpretação dos teores de matéria orgânica nos solos estão expressos na Tabela 2.

**Tabela 1.** As propriedades e funções da matéria orgânica e seus efeitos sobre as características do solo.

Propriedade	Aparência	Efeito no solo
Retenção de água	A matéria orgânica absorve até 20 vezes o seu peso em forma de água	Prevenção de secagem e contração do solo
Combinação com argilas	Formação de agregados	Estabilização da estrutura do solo, respiração, permeabilidade
Formação de quelatos	Complexos estáveis com cátions polivalentes como $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$	Disponibilidade de micronutrientes para as plantas e redução do efeito tóxico do alumínio
Solubilidade em água	Moléculas grandes (ácidos húmicos) e seus complexos são insolúveis em água em solos ácidos	Uma parte razoável da matéria orgânica fica retida no solo não sendo perdida por efeito das chuvas
Capacidade tampão	Mostra atividade tampão em ambientes neutros, pouco ácidos e pouco alcalinos	Manutenção de um pH constante no solo

Continua...

**Tabela 1. Continuação.**

<b>Propriedade</b>	<b>Aparência</b>	<b>Efeito no solo</b>
Troca de cátions	A acidez total das frações isoladas da matéria orgânica do solo varia entre 300 e 1.400 cmol kg <sup>-1</sup> , no solo se manifesta em torno de 200 cmol kg <sup>-1</sup>	Aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (isto é altamente relevante em solos dos trópicos com argilas de baixa atividade onde a matéria orgânica exerce aproximadamente 80% da CTC do solo)
Mineralização	A decomposição da matéria orgânica do solo produz CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fonte de nutrientes para crescimento de plantas, emissão de gases de estufa na atmosfera
Reação com agrotóxicos	Afeta bioatividade, persistência e biodegradabilidade de pesticidas	Modifica as taxas de aplicação de pesticidas para o controle efetivo

Fonte: Adaptada de Stevenson (1994).

**Tabela 2.** Classes de interpretação de teores de MOS.

Classe de teores (g kg <sup>-1</sup> )		
Baixa	Média	Alta
< 16	16 a 37	> 37

O teor de MOS também revela a textura do solo. Os arenosos normalmente apresentam valores de até 15 g kg<sup>-1</sup>, solos com textura média, entre 16 e 30 g kg<sup>-1</sup>, e solos argilosos apresentam valores acima de 31 g kg<sup>-1</sup>. Valores maiores que 60 g kg<sup>-1</sup> podem indicar situações localizadas de acúmulo, em função de má drenagem ou acidez elevada, que interferem no processo de decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos.

Entre os componentes do solo, a matéria orgânica é a principal responsável pelo desenvolvimento das cargas negativas que retêm temporariamente os cátions como potássio, cálcio e magnésio. Esse processo, conhecido como capacidade de troca de cátions, é muito importante pois protege esses nutrientes contra a lixiviação, liberando-os lentamente para a utilização pelas plantas. O principal responsável pela CTC é o húmus, o produto final da decomposição da matéria orgânica, pois possui mais cargas elétricas em sua superfície externa que os minerais de argila. Os diferentes tipos de substâncias húmicas apresentam valores de CTC entre 300 e 1.400 cmol/kg. Já minerais de argila apresentam valores sempre menores e variam em função de sua natureza (Tabela 3).

As cargas elétricas negativas da MOS dependem do pH, pois se originam da ionização dos grupamentos funcionais dos ácidos orgânicos (carboxílicos e fenólicos), e são maiores à medida que diminui a acidez dos solos. Em outras palavras, pode-se dizer que quanto maior o pH do solo maior o número de cargas originadas na matéria orgânica. Porém, mesmo em pH baixo (solos ácidos) as cargas originadas da matéria orgânica estão presentes, ao contrário do que ocorre com as cargas de origem mineral.

**Tabela 3.** Capacidade de troca catiônica (CTC) dos minerais de argila e da matéria orgânica do solo.

<b>Argila</b>	<b>CTC (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>
Vermiculita	100 a 150
Montmorilonita	80 a 150
Ilita	10 a 40
Caulinita	3 a 15
Óxidos de ferro e alumínio (goetita, hematita)	~ 4
Matéria orgânica do solo (fração leve, substâncias húmicas, substâncias não-húmicas)	~ 200
Substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina)	300 a 1.400

A MOS, seja dos resíduos orgânicos, das substâncias húmicas ou de outros materiais, como esterco, tem também grande influência sobre os teores de nutrientes no solo. Nutrientes como nitrogênio e enxofre e, em menor proporção, fósforo e micronutrientes, estão retidos na forma de compostos orgânicos. Para que esses nutrientes se tornem disponíveis às plantas, é preciso reduzi-los a sua forma inorgânica, pelo processo de mineralização.

A disponibilização natural do nitrogênio na MOS para as plantas se dá principalmente por meio dessa mineralização. Ocorrem basicamente dois processos: a amonificação, que produz amônia a partir da quebra dos compostos nitrogenados presentes na MOS, e a nitrificação, que transforma essa amônia em nitrato. Esta última forma de nitrogênio é a que normalmente prevalece nos solos em condições de aeração e drenagem adequadas. Apesar dessa estreita relação, na maioria dos estados o teor de matéria orgânica não se revelou como um índice adequado para avaliar a disponibilidade desse nutriente em solos, e por isso não tem sido ainda utilizado para essa finalidade. Apenas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina a disponibilidade de nitrogênio é avaliada indiretamente com base no teor de MOS.

O enxofre no solo tem comportamento similar ao do nitrogênio, e cerca da metade do teor desse nutriente está ligada à matéria orgânica, sendo liberada também pela mineralização.

Em solos ácidos, com pH menor que 5,6, a maior parte do fósforo está adsorvida ou fixada pelos hidróxidos de ferro e alumínio e por caulinita, sendo portanto indisponível para as plantas. A reversão dessa indisponibilidade pode ocorrer, adicionando-se calcário associado à matéria orgânica.

O papel da MOS na nutrição de fósforo ocorre devido ao retorno do nutriente ao solo por meio da mineralização dos restos culturais. Também pode ocorrer uma ocupação dos sítios de adsorção dos argilo-minerais pelos ácidos orgânicos e, com isso,

uma diminuição da fixação do fosfato. Outra possibilidade ainda é que esses ácidos orgânicos podem transformar as formas pouco solúveis, como os fosfatos de cálcio e magnésio, para formas mais solúveis e disponíveis às plantas.

A MOS é também fonte de micronutrientes, que são retidos por complexas combinações com os colóides orgânicos. Existem evidências de correlações entre a matéria orgânica e a presença de cobre, molibdênio e zinco nos solos. A ocorrência de teores maiores desses nutrientes nas camadas superficiais dos solos reforça a indicação de que eles estão ligados à matéria orgânica.

### **Efeito da Matéria Orgânica na Agregação do Solo**

A formação e manutenção de macroagregação no solo são os objetivos mais importantes do manejo de solo visando combater a erosão. Para o uso agrícola do solo, é desejável que se tenha uma baixa densidade aparente.

A densidade aparente é a massa do solo intacto, não destorreado, por unidade de volume. Conseqüentemente, quanto mais poroso for um solo, menor será sua densidade aparente. O ideal é que 50% do volume do solo seja ocupado por poros distribuídos em macro, meso e microporos. Os poros maiores ou macroporos (0,08-5 mm) (Brady & Weil, 1999) se formam entre os agregados e são importantes por favorecer a infiltração de água das chuvas, por permitir as trocas gasosas e por serem suficientemente grandes para acomodar as raízes das plantas.

Os poros intermediários ou mesoporos (0,03-0,08 mm) retêm água no solo depois de secados os macroporos e fornecem habitat para fungos e raízes finas. Os poros pequenos ou microporos (0,005-0,03 mm) geralmente ficam dentro dos agregados, retêm água disponível para as plantas, como uma esponja, e fornecem abrigo às bactérias. No caso do uso agrícola do solo, a formação e manutenção de macroporos são altamente desejáveis.

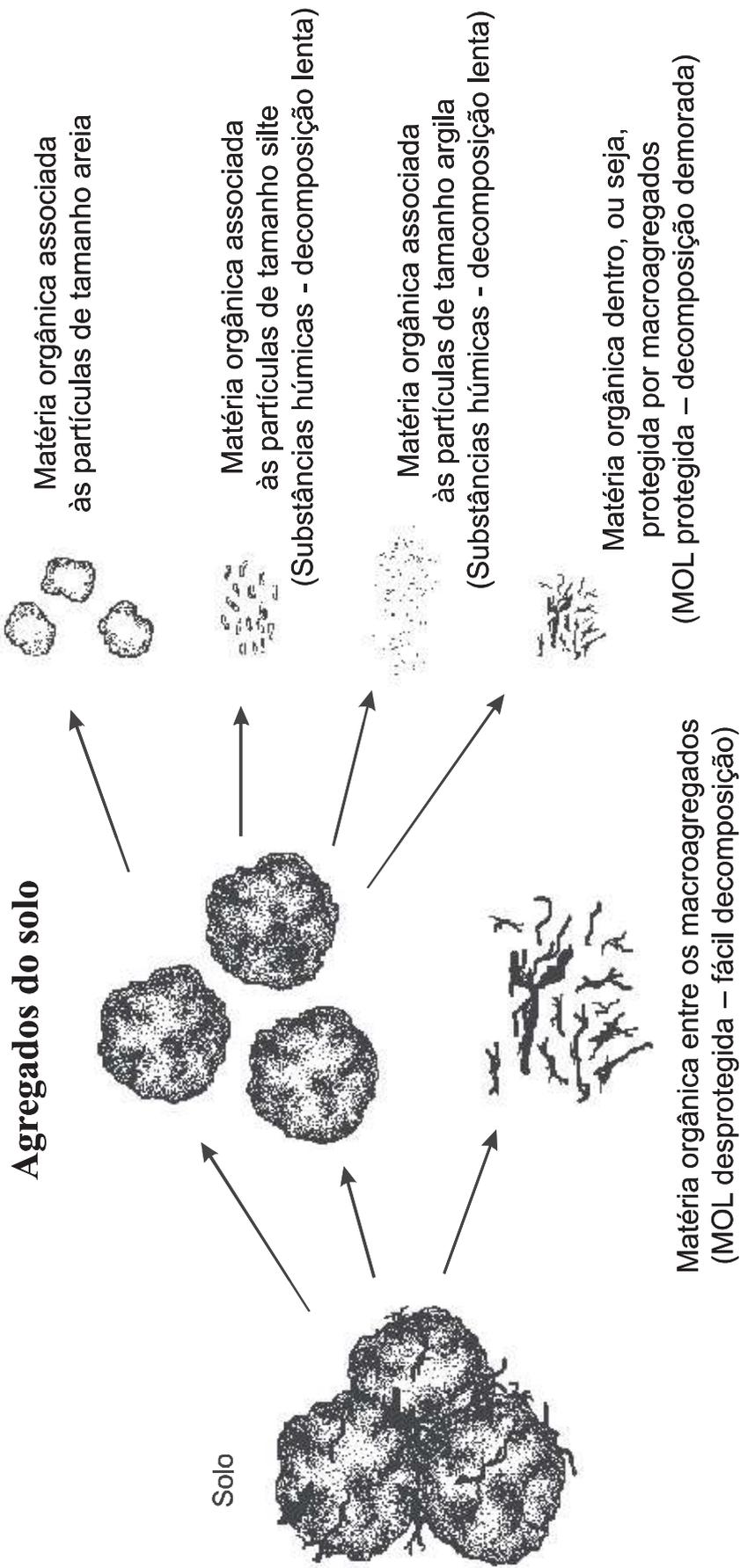
No solo existem diferentes tamanhos ou classes de agregados. A formação e a estabilidade de cada classe de agregados são influenciadas por fatores biológicos, físicos e químicos. Os agregados menores são formados principalmente pelos fatores físico-químicos (abióticos) e os agregados maiores pelos fatores biológicos. Geralmente nos solos argilosos os processos físico-químicos são mais importantes na formação dos agregados, enquanto nos solos arenosos a agregação depende principalmente dos processos biológicos.

Todos os componentes da matéria orgânica do solo (Fig. 1) afetam a formação dos agregados, principalmente, dos maiores. Os animais do solo (macrorganismos), como por exemplo, as minhocas e os cupins, ingerem partículas do solo contendo fragmentos vegetais. Como o solo avança no intestino do animal, as partículas ficam coladas e finalmente deixam o intestino na forma de agregados. Raízes finas de plantas e filamentos de fungos (raízes e microorganismos) segregam e exudam mucilagens que colam as partículas do solo e os agregados menores, formando agregados

maiores. As bactérias também segregam essas “colas orgânicas”. Muitas dessas substâncias resistem à dissolução em água e, assim, além de promover a formação de agregados, ajudam a mantê-los estáveis no solo durante vários anos.

Entretanto, o principal agente que permite a formação e estabilização de agregados é a matéria orgânica morta. Seus diferentes componentes, especialmente a MOL, constituem a fonte de energia para os organismos do solo, possibilitando suas atividades vitais. As substâncias húmicas, como são moléculas grandes, funcionam como fios em cuja superfície estão as cargas reativas, que agem como pontes ligando as partículas do solo, formando agregados estáveis em água.

A formação de agregados e a decomposição ou acumulação da matéria orgânica do solo são processos interligados. A taxa de decomposição da matéria orgânica depende da sua localização no solo (Fig. 2). A matéria orgânica localizada entre agregados está sujeita a uma rápida decomposição, o que resulta em perda de nutrientes. Por outro lado, a matéria orgânica localizada no interior das estruturas dos agregados fica protegida contra o ataque dos microorganismos e decompõe-se mais lentamente (Sohi et al., 2001).



**Fig. 2.** Localização da matéria orgânica no solo.  
 Fonte: Roscoe (2002).

## **Efeito do Manejo sobre as Características e Propriedades da Matéria Orgânica do Solo**

O melhor equilíbrio entre os diversos componentes do solo e a matéria orgânica encontra-se normalmente nos sistemas naturais. Assim, geralmente, aqueles sistemas que reproduzem condições no solo mais próximas aos sistemas naturais são os mais sustentáveis e, portanto, mais apropriados para a produção vegetal. Nesse contexto, o manejo adequado da matéria orgânica do solo é fundamental, porque qualquer alteração sofrida pela MOS irá refletir nas propriedades físicas e químicas do solo, desequilibrando o sistema e afetando sua capacidade de sustentar a produção agrícola. Diferentes sistemas de preparo do solo para o plantio, como por exemplo, o plantio convencional (aração seguida de gradagem) ou o plantio direto, afetam diferentemente as características da matéria orgânica e, conseqüentemente, a fertilidade e a qualidade do solo.

Manejos conservacionistas do solo favorecem a acumulação da MOL na superfície do solo quando comparados aos cultivos tradicionais nos quais se fazem a aração e gradagem, revolvendo o solo e rompendo seus agregados, o que promove uma rápida decomposição da MOL, resultando na perda de nutrientes.

Quando os agregados são mantidos, ou seja, não há o revolvimento do solo, a decomposição da MOL é mais lenta, liberando nutrientes gradualmente, durante um período mais longo, de acordo com a

demanda das culturas em suas fases de crescimento e frutificação.

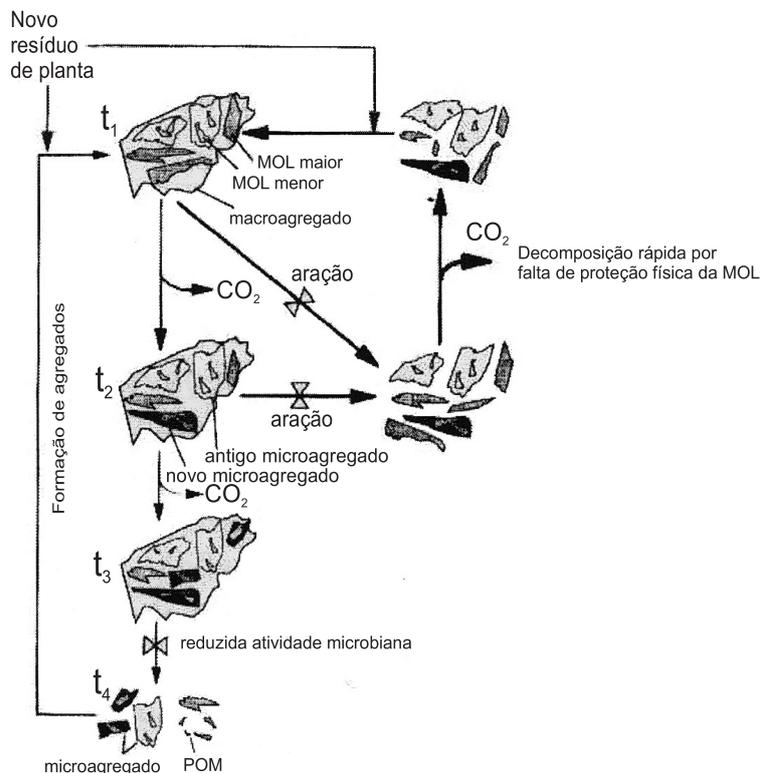
O manejo do solo também afeta os teores de substâncias húmicas. A porção mais estável das substâncias húmicas (formadas por estruturas aromáticas policondensadas) é bastante estável e persistente, sendo pouco afetada por efeito do manejo, pelo menos durante um período até 20-25 anos. Por outro lado, a parte mais reativa dessa molécula (formada por grupos ácidos contendo oxigênio, principalmente ácidos carboxílicos) parece ser favorecida pelas técnicas de preparo convencional do solo, em que há o revolvimento e oxidação do solo e, por conseqüência, a formação dos grupos reativos. Uma terceira porção das substâncias húmicas (formadas por estruturas alifáticas) é facilmente mineralizada pelos microorganismos do solo que a utilizam como fonte de energia, quando o solo é revolvido, contribuindo para uma rápida perda de nutrientes (Michéli et al., 2002).

Comparando com os sistemas naturais (por exemplo floresta), nos sistemas mais intensos de cultivo ocorre uma perda relativa de ácidos fúlvicos, enquanto em sistemas mais conservacionistas (como plantio direto e agroflorestas), essa perda é minimizada.

Para conservar a matéria orgânica do solo e assim atingir níveis satisfatórios de produtividade, além do manejo da fertilidade, o manejo físico (manejo das propriedades físicas do solo) também é fundamental. Por esse motivo é importante a escolha

de sistemas de produção que sejam capazes de conciliar a preservação ambiental com as necessidades de produção de alimentos. Daí a ênfase atualmente no desenvolvimento de sistemas de cultivo mais conservacionistas, entre os quais se destaca o plantio direto, que será tratado em um capítulo à parte.

É preciso ter clareza, contudo, que o tipo de sistema adotado afetará as propriedades mais elementares do solo sob o ponto de vista de manejo e, portanto, a capacidade de se manter sustentável por períodos maiores de tempo, como se exemplifica para a relação entre o estado de agregação do solo, a taxa de decomposição da matéria orgânica e diferentes tipos de plantio (Fig. 3).



**Fig. 3.** Modelo de transformação de macroagregados e da formação de microagregados.  
 Fonte: Six et al. (2000).

No plantio convencional, a aração quebra os agregados maiores, liberando matéria orgânica, principalmente MOL, que estava protegida da ação dos microorganismos dentro da estrutura dos agregados, ficando assim disponível ao ataque microbiano. Ao contrário, sob plantio direto, no qual o solo não é movimentado e revolvido, a transformação de agregados é mais lenta e a MOL permanece protegida dentro da estrutura dos agregados, ficando sujeita a uma taxa de decomposição mais lenta, podendo evoluir para formas mais estáveis e de maior reatividade (substâncias húmicas). Simultaneamente ainda se observa, relacionada a este processo, maior acumulação de carbono orgânico na superfície do solo sob plantio direto, o que contribui também para um controle mais eficiente da erosão.

## **Conclusões**

Uma vez demonstrada a importância da matéria orgânica sobre as diversas propriedades do solo, torna-se fundamental seu manejo adequado visando à conservação da MOS e, conseqüentemente, a manutenção da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas de produção. Nas análises de solo feitas em rotina apenas os teores de carbono no solo são analisados, não havendo informações sobre a qualidade da MOS. Cabe, portanto, aos técnicos e ao produtor monitorarem a qualidade do solo na área de cultivo, observando o seu grau de compactação, a existência de raízes em profundidade e a atividade de organismos (como minhocas), fatores que estão relacionados à MOS. A redução do teor de carbono

no solo após sucessivos plantios pode anteceder um declínio na produtividade das culturas e, portanto, deve servir como alerta para a necessidade de uma mudança na forma de manejo ou de se utilizar algum meio de adubação orgânica visando restabelecer os níveis de matéria orgânica e o reequilíbrio das propriedades do solo.

### **Referências Bibliográficas**

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 423 p.

CHEN, Y.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: McCARTHY, P. (Ed.) **Humic substances in soil and crop science: selected readings**. Madison, p. 161-186, 1990.

GLASSER, B. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. **Biol. Fertil. Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

HAYES, M. H. B.; CLAPP, C. E. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 11, p. 723-727, 2001.

MICHÉLI, E.; MADARI, B.; TOMBÁ CZ, E.; JOHNSTON, C. T. Tillage-soil organic matter relationships in long-term experiments in Hungary and Indiana. In: KIMBLE, J. M.; LAL, R.; FOLLETT, R. F. **Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 289 p.

RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca de frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, v. 28, p. 85-112, 1969.

ROSCOE, R. **Soil organic matter dynamics in a Cerrado Oxisol**. Wageningen: Wageningen University, 2002. 156 p. Tese de Doutorado.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. NifTAL Project, Honolulu, USA: University of Hawaii Press. p. 5-32, 1989.