



## **MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E O SEU PAPEL NA MANUTENÇÃO E PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS**

Elaine Martins da Costa<sup>1</sup>, Helane França Silva<sup>2</sup>, Paula Rose de Almeida Ribeiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil (elainemartins20@hotmail.com)

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil

<sup>3</sup>Doutoranda em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil

**Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013**

### **RESUMO**

A matéria orgânica do solo desempenha papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas agrícolas, influenciando atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com reflexo na estabilidade e produtividade dos agroecossistemas. A ciclagem da matéria orgânica do solo é controlada por taxas de deposição, decomposição e renovação dos resíduos que ocorrem de forma dinâmica. Os diferentes sistemas de manejos adotados nos cultivos agrícolas têm grande influência sobre seus estoques, podendo diminuir, manter ou aumentar em relação à vegetação nativa. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de apresentar uma revisão geral em relação à dinâmica da matéria orgânica do solo e os benefícios da mesma em sistemas agrícolas, além de apresentar as principais práticas que contribuem para o seu incremento e para a sustentabilidade em cultivos agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, sistemas de manejo, carbono orgânico.

### **SOIL ORGANIC MATTER AND ITS ROLE IN THE MAINTENANCE AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

The soil organic matter plays a key role in the sustainability of agricultural systems, influencing physics and chemical and biological attributes of soil with reflection on stability and productivity of agroecosystems. The cycling of soil organic matter is controlled by deposition rates, renovation and decomposition of residues that occur dynamically. The different soil management in agricultural systems have great influence over their stocks, which may reduce, maintain or increase in relation to native vegetation. The present study aims at presenting an overview regarding the dynamics of soil organic matter and the benefits of it in agricultural systems, and

explain the main practices that contribute to the increase of soil organic matter and the sustainability crops.

**KEYWORDS:** Sustainability, management systems, organic carbon.

## **INTRODUÇÃO**

A manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo em sistemas de cultivo contínuo é fundamental para garantir a produtividade agrícola e a qualidade ambiental para as gerações futuras. Nesse sentido, a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um papel importante, sendo considerada a principal indicadora da qualidade do solo, servindo de base para sustentabilidade agrícola (LAL, 2004). A quantidade de MOS depende da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, entre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de MOS tende em direção a um valor de equilíbrio em áreas sob vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013). No entanto, nos sistemas agrícolas, o manejo adotado tem grande influência nos estoques de MOS, podendo diminuir, manter ou aumentar esses estoques em relação à vegetação nativa (BAYER et al., 2000; LIU et al., 2003; KHORRAMDEL et al., 2013).

A utilização de práticas sustentáveis como o sistema de integração lavoura pecuária, plantio direto, a utilização de culturas de cobertura e pousio, sistemas agroflorestais, a longo prazo, pode aumentar e/ou manter a quantidade e a qualidade da MOS, tendo como consequência a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LAL, 2004). Entre os vários efeitos benéficos da MOS, nos sistemas agrícolas, destaca-se a estimulação da microbiota do solo, condicionamento físico do solo, efeito tampão biológico e químico, controle térmico e melhor retenção de água (UNGERA et al., 1991; CONCEIÇÃO et al., 2005; BOULAL et al., 2011).

Devido aos seus efeitos diretos e indiretos sobre as propriedades do solo, a MOS exerce forte influência sobre a capacidade produtiva do solo. No entanto, é difícil quantificar o carbono orgânico do solo (COS) relacionado à estabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas (LAL, 2004). Mas, sabe-se que a manutenção do COS é essencial para sustentabilidade da agricultura, uma vez que os aumentos nos seus níveis conduzem, geralmente, a uma maior produtividade das culturas, e aumento na eficiência de utilização dos nutrientes (LAL, 2004; MALHI et al., 2011; PAUL et al., 2013).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de apresentar uma revisão geral em relação à dinâmica e o papel da matéria orgânica do solo nos ecossistemas agrícolas, bem como os principais sistemas de manejo do solo que contribuem para o seu incremento e para a sustentabilidade agrícola.

## **PRINCIPAIS ASPECTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS**

### ***DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS CULTIVADOS***

Os resíduos orgânicos encontrados no solo podem ser de origem vegetal, animal e de produtos de suas transformações. A vegetação consiste na principal fonte de deposição de materiais orgânicos ao solo. O volume de matéria orgânica do

solo (MOS) é determinado a partir do equilíbrio entre a entrada de matéria orgânica ao solo e saída de CO<sub>2</sub>. A ciclagem da MOS é controlada por taxas de deposição, decomposição e renovação dos resíduos, que ocorrem de forma dinâmica (MULVANEY et al., 2010).

Enquanto as taxas de entrada de material vegetal ao solo em ecossistemas agrícolas podem ser controladas pelo homem, a determinação da taxa de decomposição desses materiais é controlada por uma complexa interação entre fatores climáticos, população microbiana do solo e a composição química do material vegetal, que são em grande parte além do controle humano (COSTA & SANGAKKARA, 2006).

A umidade e a temperatura do solo são os dois principais fatores climáticos que influenciam a taxa de decomposição. Em geral, as taxas de decomposição são maiores com o aumento da umidade do solo e temperatura (COSTA & SANGAKKARA, 2006). No entanto, o teor de matéria orgânica de uma determinada classe de solo e/ou ecossistema tende para um valor de equilíbrio, dependendo das condições ambientais expostas (FERREIRA et al., 2012; PATERSON & SIM, 2013). O preparo do solo executado com aração e, ou, gradagem, aumenta o potencial de perda de MOS por erosão hídrica e decomposição microbiana, sendo a última a principal forma de perda de MOS afetada pela utilização de máquinas agrícolas (BAYER et al., 1999)

Em solos sob vegetação natural não ocorrem grandes variações nos estoques de MOS, havendo um equilíbrio. Apesar da tendência de equilíbrio, mesmo em ecossistemas naturais existe uma variabilidade das médias mensais do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo devido à interferência de fatores edafoclimáticos. D'ANDREA et al. (2010), com o objetivo de avaliar a estrutura da variabilidade espacial de curta escala das emissões de CO<sub>2</sub> e identificar atributos do solo ou fatores ambientais relacionados ao processo, em um Latossolo coberto por mata nativa, concluíram que as emissões de CO<sub>2</sub> são fenômenos de natureza complexa, não sendo possível identificar um único atributo do solo ou do ambiente que explique, isoladamente, sua variação no espaço.

Nos agroecossistemas, os estoques de MOS podem ser influenciados por diversas práticas de manejo. As alterações na MOS têm consequências sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e se mostram dependentes das condições do solo, do clima e das práticas culturais adotadas (LAL, 2004; RANGEL et al., 2008; CARIDE et al., 2012).

O aumento no estoque de MOS é proveniente do sequestro de carbono (C) atmosférico, via fotossíntese, sendo, do ponto de vista ambiental, muito importante na mitigação da emissão de gases do efeito estufa (LAL, 2004). Práticas de manejo conservacionistas podem resultar na manutenção ou incremento da MOS (CORAZZA et al., 1999; SIQUEIRA NETO et al., 2009; CARIDE et al., 2012). Por outro lado, a conversão dos ecossistemas naturais em sistemas agrícolas convencionais, pode levar ao declínio da MOS e degradação do solo, uma vez que esses sistemas promovem o rompimento de agregados, estimulando a atividade dos microrganismos. Tais perdas decorrem, em grande parte, do tipo de sistema de manejo adotado nas mais diversas condições ambientais (XAVIER et al., 2006).

Em ecossistemas de regiões tropicais, as perdas de C observadas após a retirada da vegetação natural e cultivo dos solos são mais aceleradas do que em regiões temperadas (RANGEL et al., 2008). Nos trópicos, temperaturas mais elevadas, altos índices pluviométricos e maior atividade microbiana causam rápida

decomposição dos materiais orgânicos incorporados e presentes no solo (XAVIER et al., 2006).

Alguns estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo (LOSS et al., 2010; XAVIER et al., 2006). Um dos principais indicadores das alterações no solo, provocadas pelos diferentes sistemas de manejo é o teor de C orgânico do solo total (COT) ou particulado (COP). Alguns autores têm demonstrado que o COP é mais sensível às mudanças promovidas pelos sistemas de manejo na dinâmica do C do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; SOUZA et al., 2008; XAVIER et al., 2006). SOUZA et al. (2008), avaliando o C orgânico em um sistema de integração lavoura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto verificaram que o COP foi o atributo mais sensível em demonstrar variações no C orgânico do solo sob as condições de manejo da pastagem adotadas.

O carbono da biomassa microbiana do solo, embora represente uma pequena fração da MOS, é também considerado um sensível indicador das mudanças promovidas pelos sistemas de manejo (MOREIRA & MALAVOLTA, 2004; CARDOSO et al., 2009). MOREIRA & MALAVOLTA (2004), avaliando as alterações na atividade da biomassa microbiana como um indicador da dinâmica de C e nitrogênio (N) em solo submetido à sucessão de cobertura vegetal e de manejo na Amazônia Ocidental, concluíram que a sucessão floresta primária-pastagem-cupuaçuazal afeta negativamente o estoque de C do solo, com diminuição significativa da MOS e do C da biomassa microbiana do solo, ao passo que na sucessão floresta primária-cupuaçuazal ocorre diminuição apenas do C da biomassa microbiana.

Outro atributo relacionado com dinâmica da MOS que tem sido estudado é o potencial de mineralização de carbono. CARDOSO et al. (2010), avaliando o impacto da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, e exposição da pastagem nativa ao sistema de pastejo contínuo, sobre os estoques de C e N no solo, em ecossistemas naturais do Pantanal, verificaram que houve redução nos estoques de carbono orgânico e carbono microbiano no solo, notadamente mais expressiva nas pastagens cultivadas com maior tempo de implantação, porém não houve alteração nos estoques de nitrogênio total no solo. O conhecimento das alterações da mineralização do carbono orgânico do solo (COS) que ocorrem nas diferentes condições edafoclimáticas, pode ajudar a desenvolver sistemas de manejo útil na melhora do uso da terra e de preservação do meio ambiente.

As diferentes coberturas vegetais são determinantes da quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos, influenciando diretamente na dinâmica da MOS, nos diferentes ecossistemas. As alterações nos estoques da MOS são lentas, o que, associado a curtos períodos experimentais, dificulta a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo (BAYER et al., 2000). Nesse sentido, estudos agrônomicos de longo prazo sobre o monitoramento da MOS são essenciais para determinar as alterações nos estoques, que muitas vezes são perceptíveis somente após vários anos ou décadas (PERALTA & WANDER, 2008). Dependendo do manejo aplicado, pode ocorrer equilíbrio com recuperação e até mesmo acumulação nos estoques de MOS em agroecossistemas, podendo resultar na atenuação da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera, aumentando o sequestro de C no solo, e simultaneamente aumentar a produtividade do solo (CORAZZA et al., 1999; PERALTA & WANDER, 2008).

A comparação entre os estoques de C em diversos agroecossistemas, em relação aos do sistema natural existente, tem sido utilizada para avaliar o papel do solo como fonte ou depósito de C. O conhecimento dos estoques de C e de sua dinâmica no solo em agroecossistemas é importante no desenvolvimento de tecnologias para estabelecer sistemas sustentáveis, bem como para analisar o papel do solo como fonte ou depósito do C da atmosfera (CORAZZA et al., 1999).

Experimentos conduzidos, em condições de clima subtropical no sul do Brasil, têm demonstrado que a utilização de culturas com alta produção de resíduos e N, pela inclusão de leguminosas na rotação, resultam em um aumento significativo dos estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) do solo (BAYER et al., 2000). Esses autores ainda verificaram que a utilização, durante nove anos, do plantio direto associado ao sistema aveia + ervilhaca/milho + caupi resultou num acúmulo de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de CO e de 900 kg ha<sup>-1</sup> de NT na camada de 0-30 cm, quando comparado ao sistema de manejo convencional.

CORAZZA et al. (1999), com o objetivo de estimar as quantidades de C armazenadas no solo em áreas cultivadas de Latossolo Vermelho Escuro, comparativamente ao ecossistema natural, em áreas de Cerrado, verificaram que a acumulação de C foi maior nos sistemas sem perturbação do solo (plantio direto, pastagem cultivada e reflorestamento de eucalipto) e menor nos sistemas perturbados (arado de discos e grade pesada), que atuaram como depósito e fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, respectivamente. Dos manejos adotados, o sistema de plantio direto apresentou a maior taxa de adição de C no solo e o sistema grade pesada apresentou a maior taxa de perda.

Além das perdas por decomposição, o uso de sistema de manejo inadequado pode causar perdas da MOS através da erosão hídrica. HERNANI et al. (1999), avaliando as perdas de bases trocáveis e de matéria orgânica num Latossolo Roxo em Dourados (MS), submetido a diferentes sistemas de manejo de solo, verificaram que o plantio direto foi o sistema mais eficaz no controle da erosão, perdendo as menores quantidades totais de nutrientes e de matéria orgânica. Verificaram ainda que o sistema de escarificação + gradagem niveladora foi mais eficiente do que o sistema de gradagens no controle das perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão.

BAYER et al. (2000), ao determinar os parâmetros da dinâmica da matéria orgânica em um Podzólico Vermelho-Escuro, submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, a partir do ajuste de um modelo exponencial de primeira ordem aos estoques de CO e NT do solo no 5º e 9º ano de um experimento, verificaram que a utilização do plantio direto resultou na redução pela metade da taxa de perda da matéria orgânica, comparativamente ao preparo convencional. Os referidos autores avaliaram também o efeito dos sistemas de manejo na mitigação das emissões do CO<sub>2</sub> atmosférico e simularam, a médio prazo (15 anos), o comportamento dos estoques de CO e NT do solo e concluíram que a utilização do plantio direto, associado a sistemas de sucessão/rotação de culturas com alto aporte de resíduos e de N, pela inclusão de leguminosas, é fundamental, permitindo acelerar o aumento dos teores de matéria orgânica no solo e diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera.

Após analisar quatro campos com diferentes históricos de cultivo (solo sem cultivo e solos sob cultivo durante 5, 14 e 50 anos), LIU et al. (2003) constataram que o conteúdo de CO do solo sem cultivo foi bastante elevada em relação ao solo com histórico de cultivo de 50 anos, sendo quase o dobro, na profundidade de 0-17 cm, 3,5 vezes maior na profundidade de 18-32 cm e 4,5 vezes maior na

profundidade de 33-43 cm. Nas profundidades de 0-17 cm e 18-32 cm, não foi verificada diferença significativa do conteúdo de COS entre os solos sob histórico de cultivo de 5 e 14 anos. Eles também mostraram que houve um decréscimo significativo do teor de COS total nos primeiros 5 anos de cultivo, sendo a perda média por ano cerca de 2300 kg ha<sup>-1</sup> para a profundidade de 0-17 cm. A possível explicação é que a camada do solo de 0-17 cm foi muito perturbada por sistemas de cultivos que resultam na diminuição acentuada da proteção física e estabilidade do COS, levando a decomposição acelerada. A diferença entre a perda anual média do COS em solos com histórico de cultivo de 5 e 14 anos foi de 950 kg ha<sup>-1</sup>; entre cultivo de 14 e 50 anos foi 290 kg ha<sup>-1</sup>. Estes dados mostram claramente a rápida redução do teor de COS decorrente da perturbação inicial do solo pelo cultivo e uma perda relativamente gradual posteriormente.

### ***BENEFÍCIOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO NOS SISTEMAS AGRÍCOLAS: FUNÇÕES FÍSICA, QUÍMICA E BIOLÓGICA***

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui a base fundamental para a produtividade agrícola sustentável, pois através dos seus efeitos diretos, é capaz de modular as condições químicas, físicas e biológicas do solo, e conseqüentemente, a eficiência nutricional, sendo considerada uma importante indicadora da qualidade do solo. Ela é considerada fonte de nutrientes às plantas, influencia a infiltração, retenção de água, estruturação e susceptibilidade do solo à erosão, atua também sobre outros atributos, tais como: capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos do solo e estimulação da biota do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; UNGERA et al., 1991).

As influências mais evidentes da MOS em relação às condições físicas do solo são: estabilização da temperatura do solo, favorecendo as plantas; aumento da capacidade de retenção de água no solo, favorecendo o desenvolvimento das raízes, principalmente em regiões com riscos de veranicos; melhor estabilidade dos agregados e redução do escoamento de água superficial, diminuindo os riscos de erosão (CONCEIÇÃO et al., 2005). Quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos retornados para o solo, maior a cobertura da superfície do solo e maior a proteção da estrutura do solo contra perturbações naturais e antropogênicas (BLANCO-CANQUI & LAL, 2009).

Segundo UNGERA et al. (1991), a cobertura do solo, através da palhada das lavouras, ajuda no controle da erosão hídrica. Os resíduos na superfície do solo o protegem do impacto direto da chuva, pois eles dissipam os pingos de chuva, minimizando o desprendimento das partículas de solo e mantendo, assim, as taxas de infiltração de água favorável, com redução do transporte das partículas superficiais. A manutenção de resíduos orgânicos na superfície do solo, também reduz a evaporação e a temperatura do solo, aumentando a infiltração de água no mesmo e diminuindo o escoamento superficial (UNGERA et al., 1991).

A estabilidade dos agregados é uma das propriedades do solo mais sensíveis à remoção de resíduos de culturas, diminuindo significativamente com a diminuição da cobertura do solo. As superfícies dos agregados em solos sem cobertura por resíduo são prontamente dispersas sob as forças erosivas do impacto de gotas de chuva. Alguns estudos mostram que a estabilidade de agregados é positivamente correlacionada com a concentração de MOS (BLANCO-CANQUI & LAL, 2009). Estudos têm demonstrado que solos com menos de 2% de carbono orgânico pode ser considerado erodíveis e a erodibilidade do solo diminui linearmente com

conteúdo CO (LIU et al., 2010). Para a maioria dos solos minerais, a estabilidade estrutural dos agregados diminui quando práticas de manejo inadequadas resultam na redução do teor de MOS (PAUL et al., 2013).

Alguns estudos têm mostrado que a remoção dos resíduos da superfície do solo pode levar a rápidas mudanças na estabilidade dos agregados. Segundo BLANCO-CANQUI & LAL (2009), em solos propensos à degradação estrutural, mesmo em baixas taxas de remoção, como 25%, pode ocorrer redução significativa na estabilidade dos agregados. Esses autores sugerem que a magnitude dos impactos da remoção dos resíduos de culturas em propriedades estruturais do solo rege-se, provavelmente, por diferenças no tipo de solo (textura e mineralogia), condições de manejo do sistema e clima. Ressaltam ainda que a redução severa geralmente ocorre com a remoção completa.

De acordo com BLANCO-CANQUI & LAL (2008), a remoção dos resíduos da colheita afeta as propriedades do solo em macro e micro escala. Portanto, a manutenção dos resíduos das culturas na superfície do solo é importante para modular funções e propriedades do mesmo em todas as escalas.

No que se refere ao papel da MOS como condicionadora química do solo, destaca-se sua interferência na capacidade de troca de cátions (CTC), pH, condutividade elétrica (CE), ciclagem de nutrientes e complexação de elementos tóxicos do solo. Além disso, a decomposição do material orgânico também deve ser considerada fonte de nutrientes no solo, pois sua decomposição resulta em mineralização dos nutrientes dos tecidos das plantas (CONCEIÇÃO et al., 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

O teor de MOS pode ser identificado como um determinante chave da fertilidade do solo. O aumento nos estoques de MOS constitui a principal base para todas as medidas agronômicas relacionadas a melhoria da fertilidade do solo. A MOS executa a função crucial de fornecer um número significativo de sítios de ligação para elementos essenciais presentes no solo, contribuindo para o aumento da CTC e melhor eficiência de utilização dos nutrientes (COSTA & SANGAKKARA, 2006).

Em solos tropicais, intensamente intemperizados, que apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC, o teor de MOS têm importância fundamental, pois nesses solos a contribuição da CTC pelos minerais de argila é extremamente limitada (CONCEIÇÃO et al., 2005). Alguns estudos têm mostrado que existe uma relação linear crescente entre a CTC total e conteúdo de carbono orgânico nos solos tropicais (COSTA & SANGAKKARA, 2006). BLANCO-CANQUI & LAL (2009) observaram que a CTC diminuiu ligeiramente com o aumento da taxa de remoção de resíduos, em três classes de solos do estado de Ohio (EUA), mas a magnitude das alterações dependia da classe de solo.

Devido à presença de minerais de argila de baixa atividade na maioria dos solos tropicais, todas as estratégias para aumentar a capacidade de retenção de nutrientes dos solos baseiam-se no aumento do teor de MOS (CONCEIÇÃO et al., 2005). Isso pode ser alcançado através do aumento das entradas de materiais orgânicos ao solo e impedimento de altas taxas de decomposição dos resíduos, ou de preferência através de uma combinação de ambos.

A decomposição do material orgânico, com liberação de compostos orgânicos tanto de baixa como de alta massa molecular, exerce influência sobre a disponibilidade de nutrientes no solo. Essa influência está muito relacionada com a complexação ou adsorção de íons competidores, inibindo a ação dos grupos

funcionais do solo, deixando, assim, os nutrientes mais livres em solução (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

Segundo AMARAL et al. (2004), a manutenção dos resíduos vegetais da parte aérea, pelo sistema de plantio direto, resulta na produção contínua de ácidos orgânicos, o que beneficia a aplicação superficial do calcário e fósforo, mediante a formação de complexos, reduzindo o alumínio e aumentando a mobilidade de Cálcio e magnésio, ficando esta ação restrita à camada de 2,5 cm do solo.

Em solos tropicais, onde o fósforo (P) é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa, a MOS exerce importante papel, sendo uma das principais características que influencia na adsorção de P. Nesses solos a MOS interage com óxidos de alumínio e ferro resultando em redução dos sítios de fixação, por causa do recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico, ou pela formação de compostos na solução do solo. Ocorre, assim, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (RAMOS et al., 2010).

A eficiência dos ácidos orgânicos em aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo depende do pH, do tipo de ânion orgânico e da sua persistência no solo, pois muitos desses ácidos são degradados em poucos dias após a liberação dos resíduos vegetais. A ação desses compostos orgânicos parece ser tanto de competição pelos sítios de troca como de complexação de outros íons indesejáveis (PAVINATO & ROSOLEM, 2008)

Em relação à biologia do solo, a MOS exerce também papel essencial. Entre os efeitos da MOS, destaca-se a estimulação da biota do solo, devido ao fornecimento de nutrientes e energia para atividade desses organismos. Os resíduos orgânicos presentes na superfície do solo exercem efeito direto sobre a dinâmica dos microrganismos do solo. ROLDÁN et al. (2003) relataram que em terrenos com de cobertura do solo  $\leq$  a 33%, a biomassa microbiana foi menor ( $322 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação aos terrenos com 66 ( $426 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e 100 ( $654 \text{ mg kg}^{-1}$ ) % de cobertura. Além do papel primordial dos microrganismos edáficos na execução de funções essenciais ao funcionamento dos ecossistemas, a biomassa microbiana também é considerada um reservatório de nutrientes de rápida ciclagem, apresentando associação com a fertilidade (MOREIRA & MALAVOLTA, 2004).

Estes e outros benefícios conferem à MOS um papel fundamental, sendo talvez o principal atributo indicador da qualidade do solo. Desse modo, estudos que abordem o impacto da implantação de novos sistemas de manejo do solo e de culturas sobre a MOS e as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo são importantes no sentido de avaliar a sustentabilidade dos diferentes agroecossistemas em uma determinada região (CONCEIÇÃO et al., 2005).

### **RELAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COM A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA**

O papel da matéria orgânica do solo (MOS) em sistemas agrícolas tem sido amplamente estudado em conjunto com o potencial de mitigação de gases do efeito estufa. No entanto, a ligação entre acumulação de MOS em plantações, estabilidade de produtividade e rendimento das culturas ainda não foi claramente estabelecida (LAL, 2004). Segundo LIU et al. (2010) uma tendência estável na produtividade das culturas é considerada necessária para chamar um sistema sustentável. A estabilidade da produtividade é também uma característica importante a ser

considerada ao julgar o valor de um sistema de cultivo em relação aos outros (LEITE et al., 2009).

Embora não haja um limite crítico para o teor de carbono orgânico do solo (COS), abaixo do qual a fertilidade é comprometida (redução da produtividade, solo fisicamente instável e propenso à erosão), o mais baixo limite, de aproximadamente 2%, tem sido relatado para evitar significativa deterioração estrutural do solo e sustentar 90 a 95% da máxima produção (MONTANARO et al., 2010).

Alguns trabalhos relatam que a remoção de resíduos da colheita pode aumentar, diminuir ou não ter efeito algum sobre a produtividade das culturas dependendo das condições específicas do local. Diferenças na textura do solo, drenagem e topografia são provavelmente os principais fatores que afetam a magnitude dos impactos negativos da remoção de resíduos do solo. A variabilidade de um ano para outro e condições atmosféricas específicas (por exemplo, quantidade de chuva) pode mascarar os efeitos da remoção de resíduos orgânicos no rendimento das culturas (BLANCO-CANQUI & LAL, 2009).

Alguns autores relatam que as variações de precipitação anual podem ter impactos maiores do que a remoção de resíduos sobre produtividade das culturas (LINDEN et al., 2000). Relatam ainda que a redução no rendimento das culturas por remoção de resíduos orgânicos é principalmente devido aos efeitos provenientes da remoção, tais como: redução na quantidade de água disponível no solo, altas taxas de flutuações na temperatura do solo, compactação do solo e menor ciclagem de nutrientes.

Alguns estudos realizados para estabelecer os níveis de limite de corte e remoção de resíduos para usos alternativos, especificamente nos Estados Unidos, indicam que cerca de 30 a 50% do total produzido pode ser removido sem causar graves impactos no solo (GRAHAM et al., 2007). Estas estimativas são, no entanto, baseadas apenas nos requisitos de cobertura do solo para o controle de erosão do mesmo e não considera os requisitos de utilização dos resíduos orgânicos para manter ou aumentar a produção de culturas, aumentar os estoques de MOS e manter a sustentabilidade agronômica do solo (BLANCO-CANQUI & LAL, 2009).

Segundo LIMA et al. (2010), níveis de limites de remoção de resíduo devem ser avaliados para cada tipo de solo, com base nas necessidades, para manter ou melhorar a produtividade do solo e a qualidade ambiental. Para os solos em que alguns resíduos são removidos, melhores práticas agronômicas devem ser adotadas para minimizar os impactos negativos.

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos visando à utilização de resíduos orgânicos como prática alternativa para tornar a agricultura mais sustentável e produtiva. Para AMADO et al. (2000), as informações básicas requeridas para otimizar a recomendação da adubação nitrogenada em sistemas de manejo conservacionista incluem: estimativa do potencial de mineralização do nitrogênio (N) da MOS, a contribuição da cultura de cobertura antecedente (quantidade de N mineralizada ou imobilizada), requerimento de N pela cultura econômica para atingir um rendimento projetado, expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, cultura de cobertura e fertilizante mineral) e histórico de cultivos anteriores da área.

A inclusão de leguminosas em sistemas de rotação de culturas é uma estratégia que também deve ser avaliada em relação ao seu efeito nos estoques de MOS, pois provavelmente o aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão a leguminosas também ocasione um incremento da adição de resíduos

não colhidos ao solo, favorecendo a acumulação de matéria orgânica e o sequestro de CO<sub>2</sub> (BAYER et al., 2000).

SINGH et al. (2007), avaliando o balanço de nutrientes no solo e a produtividade de cana-de-açúcar sob adubação convencional e orgânica na Índia Sub tropical, durante o período de três anos, verificaram rendimento estatisticamente semelhante entre os sistemas. Nesse estudo, das nove combinações de adubos orgânicos testadas, em comparação com a adubação convencional de NPK recomendada para cultura, cinco combinações resultaram em produtividade estatisticamente semelhante à adubação convencional, sugerindo uma redução nos custos de produção. Também foi verificada uma melhoria nas condições do solo em termos de equilíbrio de nutrientes e atividade microbiana.

HEINRICHS et al. (2001), com objetivo de avaliar o comportamento da aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.) e da ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), como culturas solteiras e consorciadas em diferentes proporções, bem como sua influência no fornecimento de N e na produtividade de grãos de milho, verificaram que ervilhaca, em sucessão, como cultura solteira, resultou em produtividade de 5,44 t ha<sup>-1</sup>, não diferindo do tratamento em pousio com aplicação de N (75 kg ha<sup>-1</sup>). MONTANARO et al. (2010) avaliando a produtividade de kiwi e damasco, no sul da Itália, sob sistema de cultivo convencional e sistema de cultivo sob cobertura vegetal, verificaram, após quatro anos, que o segundo sistema promoveu um incremento no rendimento de damasco e kiwis de 28 e 50%, respectivamente.

BORTOLINI et al. (2000), avaliando o efeito de três densidades de semeadura de aveia preta e ervilhaca comum em sistemas consorciados e em cultivos isolados e de três níveis de adubação nitrogenada (0, 60 e 160 kg ha<sup>-1</sup>) aplicados em cobertura sobre a cultura do milho em sucessão, verificaram que sem aplicação de N, houve aumento de 321 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos, para cada 10% de substituição de aveia por ervilhaca nos sistemas de consórcio.

LOVATO et al. (2004), em estudo realizado em experimento de longa duração (13 anos), com o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo, constituídos por sistemas de culturas (aveia/milho, ervilhaca/milho, aveia + ervilhaca/milho + caupi), preparos de solo (preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto) e adubação nitrogenada (0 e 139 kg ha<sup>-1</sup>), nos estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total de um Argissolo Vermelho degradado e na produtividade do milho, concluíram que a inclusão de leguminosas em sistemas de culturas e a adubação nitrogenada contribuíram para a maior adição anual de C e de N ao solo, a qual foi diretamente relacionada com a produtividade do milho, e que a recuperação dos estoques de C orgânico e de N total ocorreu apenas no solo em plantio direto.

AITA et al. (2001), em experimento conduzido em Santa Maria (RS), num Argissolo Vermelho distrófico arenoso, para avaliar o potencial de algumas plantas de cobertura de solo no fornecimento de N e produtividade do milho no sistema plantio direto utilizaram as seguintes culturas: ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilha forrageira (*Pisum sativum* var. *arvense* (L.) Poir), chícharo (*Lathyrus sativus* L.), tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.) em associação ou não com doses de N (0, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup>). Esses autores verificaram que não houve resposta à adubação nitrogenada do milho quando cultivado em sucessão à ervilhaca comum e tremoço azul e que a equivalência em N mineral para ervilhaca, tremoço, chícharo e ervilha forrageira, em relação ao solo sob pousio invernal foi de, respectivamente, 137, 122,85 e 55 kg ha<sup>-1</sup> de N.

## **PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE CONTRIBUEM PARA O INCREMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Nos últimos anos, devido aos problemas de emissão de gases do efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  e CFCs), tem sido crescente o interesse no estudo do comportamento dos solos quanto à sua capacidade de armazenar ou perder carbono (C), nas diversas condições de manejo existentes. A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas introduzidas pode causar a redução no conteúdo e alteração na qualidade de C do solo (CORAZZA et al., 1999). Segundo alguns estudos, o manejo menos intensivo do solo promove acréscimos consideráveis no conteúdo total de C no solo e tem ação efetiva nas variações dos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) (BAYER et al., 2000; XAVIER et al., 2006).

Dentre as práticas alternativas de manejo conservacionistas que priorizam o aporte de MOS, podendo contribuir para o sequestro de C destacam-se os sistemas de integração lavoura pecuária, plantio direto, a utilização de culturas de cobertura e pousio, rotação de culturas e sistemas agroflorestais, entre outros (LAL, 2004; FERREIRA et al., 2012; PAUL et al., 2013). O sistema de plantio direto é uma das mais efetivas práticas de conservação, contribuindo para a redução das perdas de solo e de carbono orgânico, principalmente, devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e à proteção física da matéria orgânica em agregados. A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo no plantio direto proporciona aumento da retenção de água e maior proteção do solo contra o impacto direto das chuvas, em relação a sua incorporação mediante o preparo convencional. O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como consequência a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, que irão repercutir em sua fertilidade e na produtividade das culturas (PAUL et al., 2013). Porém, a eficiência deste sistema em manter o estoque de carbono orgânico do solo (COS) está relacionada ao manejo de culturas utilizado, sendo fundamental a associação de um sistema de rotação e sucessão de culturas diversificadas que produza adequada quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo durante todo o ano (VERNETTI JÚNIOR et al., 2009).

CORAZZA et al. (1999) avaliando o comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de C em relação à vegetação de cerrado verificaram que os solos sob plantio direto, pastagem cultivada e reflorestamento de eucalipto funcionaram como depósito e os solos sob preparo com grade pesada e preparo com arado de discos como fonte de  $\text{CO}_2$ . No referido estudo foi demonstrado que enquanto no solo sob plantio direto, houve um aumento, em relação ao solo sob cerrado nativo, de  $21,4 \text{ ha}^{-1}$  de C, em 15 anos, o que corresponde a uma taxa anual de acúmulo de C no solo de  $1,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o solo cultivado com grade pesada apresentou uma perda de  $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em 12 anos. Em regiões temperadas, LAL et al. (1999) estimaram que, graças à mudança do preparo convencional para o plantio direto, foi possível, num período entre 25 e 50 anos, recuperar de 50% a 75% do C orgânico perdido.

ARATO et al. (2003) verificaram que 50% do material depositado sobre o solo em área de cultivo de cafeeiro foi decomposto no período de 215 dias, tendo rápida liberação e reaproveitamento dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais. Dessa forma, os teores de C e nitrogênio (N) total podem ser alterados, em maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de plantio adotado. BAYER et al. (1999), avaliando o efeito da utilização do preparo convencional, preparo reduzido e plantio

direto, desenvolvidos durante nove anos, sobre as características químicas de um Cambissolo Húmico álico, com ênfase à matéria orgânica, na região do Planalto Serrano de Santa Catarina, concluíram que o plantio direto e o preparo reduzido resultaram em aumento nos conteúdos de C e N no solo, em relação ao preparo convencional, a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva relacionou-se significativamente com o teor de C e com o pH do solo e as concentrações de cálcio, potássio e fósforo apresentaram maior estratificação em profundidade no plantio direto do que nos sistemas de preparo reduzido e convencional.

XAVIER et al. (2006), estudando o efeito de sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba (CE) em relação a biomassa microbiana e matéria orgânica leve do solo, concluíram que o manejo de áreas sob cultivo orgânico e pastagem contribuiu para a manutenção e recuperação dos conteúdos de C e N dessas frações da MOS, constituindo estratégias de manejo importantes a serem consideradas para a conservação e, ou, aumento da matéria orgânica e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade do solo e para a implementação do sequestro de C na região em que foi conduzido o estudo.

O uso de adubações verdes, incluindo leguminosas, tem sido associado ao aumento do conteúdo de MOS e, conseqüentemente, manutenção e/ou melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, pois a maioria das plantas dessa família estabelecerem simbiose com bactérias fixadoras do nitrogênio do ar, resultando no aporte de quantidades expressivas deste nutriente (TEIXEIRA et al., 2006). Além de apresentarem elevada produção de massa seca e rusticidade, possuem sistema radicular profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo, podendo resultar em maiores rendimento das culturas. Nesse sentido, o uso de leguminosas para cobertura do solo, além do seu efeito na produtividade das culturas comerciais, pode potencialmente, resultar na substituição parcial ou total dos fertilizantes minerais pelo N fixado biologicamente e na melhoria da qualidade ambiental, em comparação a sistemas tradicionais (TEIXEIRA et al., 2006). Além disso, resulta na diminuição da liberação de  $N_2O$ , que é um gás causador de grande impacto ambiental.

AMADO et al. (2001), avaliando o potencial de culturas de cobertura (aveia + ervilhaca, tremoço, mucuna e feijão-de-porco) em acumular C orgânico e N total num Argissolo Vermelho distrófico arenoso, em sistemas de produção de milho e estimando a contribuição desses sistemas na emissão ou remoção do  $CO_2$  atmosférico, concluíram que a utilização da mucuna no plantio direto de milho foi a estratégia mais eficiente em promover aumento nos estoques de C orgânico e N total do solo e que o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura demonstrou potencial para recuperar o teor de MOS e, conseqüentemente, sequestrar carbono no solo e contribuir para mitigar o efeito estufa.

A Rotação de culturas pode ter um grande impacto sobre a qualidade do solo devido às interações e processos ecológicos que ocorrem com o tempo. Estes sistemas incluem, em comparação com a monocultura, a estabilidade estrutural do solo melhorado a eficiência de utilização dos nutrientes, eficiência de uso de água, incremento nos níveis de MOS e redução da variabilidade de rendimento a longo prazo (LIU et al., 2010).

Os sistemas de sucessão e de rotação de culturas são fundamentais para a manutenção ou recuperação do conteúdo de matéria orgânica, considerando sua influência na quantidade de resíduos culturais adicionados ao solo anualmente. GONÇALVES et al. (2000) em estudo conduzido num experimento de seis anos em Argissolo Vermelho-Amarelo, em Santa Maria (RS), com o objetivo de avaliar a

influência de cinco sucessões de culturas: ervilhaca comum/milho, tremoço azul/milho, ervilha forrageira/milho, aveia-preta/milho e pousio/milho no nitrogênio do solo, sob plantio direto, verificaram que a introdução de plantas de cobertura de solo sob plantio direto, promoveu acúmulos significativos de nitrogênio mineral, orgânico e total no solo e que a sucessão tremoço azul/milho destacou-se pela capacidade de promover acréscimos de nitrogênio no solo, mostrando-se vantajosa em relação à sucessão aveia preta/milho.

VILLAMIL et al. (2006) relataram que culturas de cobertura de inverno, incluindo ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) e centeio (*Secale cereale* L.) quando usado em combinação de rotação com milho-soja, resultou na redução da compactação do solo, aumento da estabilidade de agregados, aumento do teor de COS e melhorou a capacidade de retenção de água e de nutrientes no solo, em relação a sistemas de pousio de milho ou de soja.

Um dos sistemas de cultivos que tem apresentado grande potencial para manter ou aumentar os estoques de MOS é o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP). Alguns trabalhos têm enfatizado que o sistema ILP tem potencial para aumentar a produtividade e reduzir os riscos de degradação, ao melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas e o potencial produtivo do solo (MACEDO, 2009).

Em sistemas de ILP, em plantio direto, ocorre aporte diferenciado de resíduos vegetais em relação aos sistemas puros de produção de grãos, tanto na superfície quanto subsuperfície do solo (SALTON et al., 2011). Em alta intensidade de pastejo, ocorre maior crescimento radicular tanto da pastagem quanto da cultura de grãos integrante do sistema e, com isso, o aporte de matéria orgânica em profundidade será influenciado (SOUZA et al., 2008). LOSS et al. (2011), avaliando a estabilidade dos agregados, o conteúdo de matéria orgânica leve do solo (MOL), a distribuição dos teores de carbono orgânico total (COT) e N e a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos agregados de um Latossolo Vermelho argiloso sob sistema plantio direto (SPD) com ILP, em comparação à uma área em SPD sem ILP e uma área de Cerrado natural em Montividiu, GO, verificaram que o SPD com ILP favorece o aumento dos índices de agregação do solo na camada 0–10 cm, dos teores de matéria orgânica leve na camada 5–10 cm, da massa de agregados estáveis em água na camada 5–10 cm, dos teores de C orgânico total e de N dos agregados na camada 0–5 cm, em comparação ao sistema de plantio direto, sem braquiária.

Várias culturas têm sido utilizadas nos sistemas de ILP, entre as quais se destacam: soja, milho, milheto, sorgo, nabo forrageiro, girassol, algodão e gramíneas forrageiras tropicais, principalmente as braquiárias (*Urochloa* sp.), consorciadas ou não (LOSS et al., 2011). As pastagens, de modo geral, têm a capacidade de manter ou até mesmo aumentar o teor de MOS, em contraste com os cultivos anuais, e são favorecidas pela grande quantidade de resíduos de material orgânico e pelo sistema radicular extenso e em constante renovação. A utilização de pastagens em áreas degradadas de lavouras para a melhoria das propriedades edáficas, pela presença de palha e raízes da pastagem, aumenta os teores de C e melhora significativamente as condições de aeração e capacidade de infiltração de água no solo (LOSS et al., 2011).

SALTON et al. (2011), avaliando a capacidade de sistemas de manejo do solo (vegetação natural, pastagens, lavouras anuais em preparo convencional e em plantio direto e rotação de pastagem com lavoura) alteraram os teores e a dinâmica do carbono no solo, em experimentos de longa duração conduzidos em Dourados, Maracaju e Campo Grande (MS), concluíram que as maiores taxas de acúmulo e os

maiores estoques de carbono no solo ocorrem nos sistemas com pastagem permanente, enquanto os menores valores ocorrem nos sistemas com lavouras e os valores intermediários nos sistemas com integração lavoura-pastagem.

Outro sistema alternativo que contribui para incremento da MOS, refere-se ao aumento da densidade de plantas por área. PAVAN et al. (1999), avaliando o efeito de densidades populacionais de café (*Coffea arabica* L.) sobre as propriedades químicas e microbiológicas de um Latossolo em Londrina, reportaram que a alta população de café aumentou a MOS e disponibilidade de nutrientes e reduziu a acidez solo, sendo este um sistema alternativo para melhorar a fertilidade do solo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teor de matéria orgânica do solo é bastante variável em função das condições edafoclimáticas e do manejo adotado nos sistemas agrícolas, porém, tende a um valor de equilíbrio de acordo com as características peculiares de cada agroecossistema.

Para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica no solo de um determinado agroecossistema são necessários estudos que levem em consideração o tempo, pois as alterações dos seus teores podem ser lentas, dependendo das condições edafoclimáticas e manejo adotado.

A matéria orgânica do solo desempenha um papel importante na sustentabilidade agrícola, influenciando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com reflexo na estabilidade da produtividade dos agroecossistemas. Por relacionar-se a múltiplos aspectos do ambiente e do solo, a matéria orgânica pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola, o que a torna um dos principais indicadores da qualidade do solo.

O aumento dos teores de matéria orgânica do solo geralmente relaciona-se com o aumento na eficiência de utilização dos nutrientes, levando a um aumento na produtividade das culturas. No entanto, novos estudos são necessários para elucidar melhor essa relação.

Há várias práticas de manejo que contribuem para o incremento da matéria orgânica do solo e sustentabilidade agrícola, incluindo, sistema de plantio direto, utilização de culturas de cobertura e pousio, rotação de culturas, sistemas agroflorestais, sistemas de integração lavoura pecuária, entre outros. Porém, considerando a diversidade edafoclimática existente entre os agroecossistemas, para cada região deve-se optar por sistemas de manejo adaptáveis as condições locais específicas.

## REFERÊNCIAS

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.157-165, 2001.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de suprimento de nitrogênio ao milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.179-189, 2000.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.115-123, 2004.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.27, p.597-603, 2003.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.599-607, 2000.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. **Critical Reviews in Plant Science**, v.28, p.39–163, 2009.

BLANCO-CANQUI.; LAL, R. Corn stover removal impacts on microscale soil physical properties. **Geoderma**, v.145, p.335–346, 2008.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.897-903, 2000.

BOULAL, HAKIM.; GÓMEZ-MACPHERSON, HELENA.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil & Tillage Research**, v.115, p.62–70, 2011.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.631-637, 2009.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1028-1035, 2010.

CARIDE, C.; PIÑEIRO, G.; PARUELO, J.M. How does agricultural management modify ecosystem services in the Argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.154, p.23-33, 2012.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.

COSTA, W.A.J.M.D.; SANGAKKARA, U.R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. **Journal of Agricultural Science**, v.144, p.111-133, 2006.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURTI, N.; SILVA, C.A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO<sub>2</sub> do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, p.85-92, 2010.

FERREIRA, A.O.; MORAES SÁ, J.C.; HARMS, M.G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C.Q.; SANTOS, J.B.; CANALLI, L.B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in campos gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1583-1590, 2012.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.153-159, 2000.

GRAHAM, R.L.; NELSON, R.; SHEEHAN, J.; PERLACK, R.D.D.; WRIGHT, L.L. Current and potential U.S. corn stover supplies. **Agronomy Journal**, v.99, p.1-11, 2007.

HEINRICH, R.; AITA, R.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.331-340, 2001.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHKEI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, v.133, p.25-31, 2013.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. **Science**, v.304, p.1623, 2004.

LAL, R.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.5, p.374-381, 1999.

LEITE, L.F.C.; CARDOSO, M.J.; COSTA, D.B.; FREITAS, R.C.A.; RIBEIRO, V.Q.; GALVÃO, S.R.S. Estoques de C e de N e produtividade do milho sob sistemas de preparo e adubação nitrogenada em um Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado piauiense. **Ciência Rural**, v.39, p.2460-2466, 2009.

LIMA, J.D.; SAKAI, R.K.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, M. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.531-540, 2010.

LINDEN, D.R.; CLAPP, C.E.; DOWDY, R.H. Long-term corn grain and stover yields as a function of tillage and residue removal in east central Minnesota. **Soil Tillage Research**, v.56, p.167-174, 2000.

LIU, X.B.; HAN, X.Z.; HERBERT, S.J.; XING, B. Dynamics of soil organic carbon under different agricultural management system in the black soil of China. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.973-984, 2003.

LIU, X.B.; ZHANG, X.Y.; WANG, Y.X.; SUI, Y.Y.; ZHANG, S.L.; HERBERT, S.J.; DING, G. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. **Plant, Soil and Environment**, v.56, p.87-97, 2010.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.57-64, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1269-1276, 2011.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MALHIA, S.S.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; DYCK, M.F.; PUURVEEN, D. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types. **Field Crops Research**, v.124, p.378-391, 2011.

MONTANARO, G.; CELANO, G.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Effects of soil-protecting agricultural practices on soil organic carbon and productivity in fruit tree orchards. **Land Degradation & Development**, v.21, p.132-138, 2010.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1103-1110, 2004.

MULVANEY, M.J.; WOOD, C.W.; BALKCOM, K.S.; SHANNON, D.A.; KEMBLE, J.M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. **Agronomy Journal**, v.102, p.1425-1433, 2010.

PATERSON, E.; SIM, A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon. **Global Change Biology**, v.19, p.1562-1571, 2013.

PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T.T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.164, p.14-22, 2013.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E.L. High coffee population density to improve fertility of an oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.459-465, 1999.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

PERALTA, A.L.; WANDER, M.M. Soil organic matter dynamics under soybean exposed to elevated [CO<sub>2</sub>]. **Plant Soil**, v.303, p.69-81, 2008.

RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**, v.69, p.149-155, 2010.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G.; MELO, L.C.A.; OLIVEIRA JUNIOR, A.C. carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2051-2059, 2008.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNANDEZ, M.T.; GARCIA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.; VELÁSQUEZ, M.; TISCARENO, M. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil & Tillage Research**, v.72, p.65-73, 2003.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1349-1356, 2011.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1013-1022, 2009.

SINGH, K.P.; SUMAN, A.; SINGH, P.N. LAL, M. Yield and soil nutrient balance of a sugarcane plant-ratoon system with conventional and organic nutrient management in sub-tropical India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.79, p.209-219, 2007.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de

integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1273-1282, 2008.

TEIXEIRA, F.C.P.; REINERT, F.; RUMJANEK, N.G.; BODDEY, R.M. Quantification of the contribution biological nitrogen fixation to *Cratylia mollis* using the <sup>15</sup>N natural abundance technique in the semi-arid Caatinga region of Brazil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p.1989-1993, 2006.

UNGERA, P.W.; STEWARTA, B.A.; PARRB, J.F.; SINGHC, R.P. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.219-240, 1991.

VILLAMIL, M.B.; BOLLERO, G.A.; DARMODY, R.G.; SIMMONS, F.W.; BULLOCK, D.G. No-till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.1936-1944, 2006.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.

VERNETTI JÚNIOR, F.J.; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, p.1708-1714, 2009.