

Transformações do Carbono no Solo



ISSN 1517-5111
ISSN Online 2176-5081
Julho, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 264

Transformações do Carbono no Solo

Karina Pulrolnik

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares Araújo*

Editoração eletrônica: *Fabiano Bastos*

Capa: *Fabiano Bastos*

Foto da capa: *Karina Pulrolnik*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Alexandre Moreira Veloso

1ª edição

1ª impressão (2009): tiragem 100 exemplares

Edição online (2009)

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

P982t Pulrolnik, Karina
Transformações do carbono no solo / Karina Pulrolnik. –
Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2009.
36 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111,
ISSN Online 2176-5081 ; 264).

1. Carbono - Fixação. 2. Carbono - Regeneração. 3. Solo.
I. Título. II. Série.

631.4 - CDD 21

© Embrapa 2009

Autor

Karina Pulrolnik

Engenheira Florestal, D.Sc.

Pesquisadora da Embrapa Cerrados

karina.pulrolnik@cpac.embrapa.br

Apresentação

Este documento apresenta, de maneira didática, uma revisão sobre as transformações do carbono no ambiente e a participação dos microrganismos nessas transformações.

Na região do Cerrado, é de grande importância a utilização de sistemas de manejo mais conservacionistas, como plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagens bem manejadas, com o intuito de aumentar os teores de carbono no solo e conseqüentemente aumentar o sequestro de CO₂ da atmosfera. A microbiota do solo é considerada uma indicadora sensível às mudanças provocadas pelo uso do solo. Assim, este documento trata das razões que levam a microbiota do solo a transformar compostos de carbono; dos grupos de microrganismos envolvidos; e a contribuição quantitativa dos microrganismos para a dinâmica do carbono.

José Robson Bezerra Sereno
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução.....	9
Transformações dos Compostos de Carbono no Solo.....	10
Natureza dos Materiais Orgânicos Adicionados no Solo.....	16
Resíduos de plantas.....	16
Microrganismos.....	16
Componentes solúveis.....	17
Proteínas.....	17
Componentes Estruturais das Paredes Celulares das Plantas.....	17
Celulose.....	17
Hemicelulose.....	18
Substâncias pécticas.....	18
Lignina.....	18
Amido.....	18
Principais vias Metabólicas.....	19
Principais Microrganismos Envolvidos na Transformação do Carbono.....	22
Formação da Matéria Orgânica do Solo.....	23
Armazenamento de Carbono em Sistemas de Manejo na Região de Cerrado.....	26

Considerações Finais	29
Referências	29
Abstract.....	36

Transformações do Carbono no Solo

Karina Pulrolnik

Introdução

As transformações do carbono no solo compreendem duas fases que estão descritas a seguir. A fase de fixação de C-CO₂ atmosférico, que é realizada pelos organismos fotossintéticos, em que há síntese de compostos hidrocarbonados como: amidos, hemiceluloses, celulosas, ligninas, proteínas, ácidos nucleicos, entre outros. Esses compostos retornam ao solo e são utilizados pelos organismos que regeneram o C-CO₂ durante as reações de oxidação respiratória, utilizando a energia para sua manutenção e crescimento. E a fase de regeneração, que corresponde às etapas de decomposição de substâncias carbonadas pela atuação da microbiota do solo. Assim, a microbiota do solo utiliza componentes de resíduos como substrato para energia e também como recurso de carbono na síntese de novas células. A energia é fornecida para as células microbianas pela oxidação de compostos orgânicos. O produto final é o CO₂, o qual é liberado para a atmosfera (WAGNER; WOLF, 1999).

A quantidade de CO₂ liberada é utilizada como indicadora da atividade microbiana e do estágio de decomposição em que se encontram os resíduos e matéria orgânica do solo, uma vez que o CO₂ é o resultado final do metabolismo energético dos microrganismos (MARSTORP, 1996). A biomassa microbiana do solo (BMS) é determinada tomando-se por base a concentração de alguns elementos (carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre) das substâncias celulares (concentração de ATP, carboidratos e fosfolípídeos) e a taxa de respiração (DE-POLLI; GUERRA, 2008). A velocidade de liberação do CO₂ é reduzida com o tempo, esse fato decorre pela atuação seletiva dos microrganismos que decompõem

as substâncias mais lábeis de forma rápida, e, em seguida, as de maior estabilidade à decomposição.

Entre os vários componentes da matéria orgânica do solo (MOS), a biomassa microbiana é considerada uma indicadora altamente sensível às mudanças provocadas pelo uso do solo e é considerada como o compartimento central do ciclo do carbono. Ela é a parte viva da matéria orgânica, sendo constituída por bactérias, fungos e microfauna, que formam diversas comunidades no solo, excluindo-se raízes e animais maiores que a $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ (PAUL; CLARK, 1989). Estima-se que a comunidade microbiana ocupe menos de 5 % do espaço poroso do solo (SIQUEIRA et al., 1994). Ela é considerada um agente de transformação, pelo qual passam todos os materiais orgânicos adicionados ao solo e também um reservatório de nutrientes, sendo seu estudo de grande importância em sistemas de manejo do solo, pois influi na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo (BROOKES, 1995). A dinâmica do carbono no solo está diretamente relacionada ao tipo de manejo adotado e às condições ambientais locais. Dependendo do uso e manejo, o solo pode atuar como um emissor de CO_2 para a atmosfera, ou como dreno, pelo acúmulo de carbono na forma de matéria orgânica (IPCC, 2001).

Dessa forma, as transformações do carbono no solo envolvem a participação de microrganismos que podem atuar como: produtores primários, decompositores ou armazenadores desse elemento na biomassa. Neste trabalho, serão enfatizadas as razões que levam a microbiota do solo a transformar compostos de carbono; os grupos de microrganismos envolvidos e a contribuição quantitativa dos microrganismos para a dinâmica do elemento quando executam esses papéis.

Transformações dos Compostos de Carbono no Solo

O ciclo do carbono no solo é bastante complexo, pois, ao mesmo tempo em que degradam carboidratos complexos, os microrganismos sintetizam corpos do mesmo tipo e seus demais constituintes celulares, dificultando a separação entre os compostos intermediários da degradação e os da síntese.

Os teores de carbono orgânico do solo estão ligados à sua interação com a biosfera. Por meio dos produtos da fotossíntese ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energia} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$), grande parte do carbono entra no solo (SILVA; MENDONÇA, 2008). Os microrganismos heterotróficos do solo necessitam da energia de fontes de carbono derivadas da fotossíntese das plantas para crescer, multiplicar e sobreviver (WAGNER; WOLF, 1999). A fotossíntese, realizada pelos organismos autotróficos, é um processo importante para manter o equilíbrio de CO_2 na atmosfera e o ciclo de carbono na Terra (SILVA; MENDONÇA, 2008). A fotossíntese converte o $\text{C}(\text{CO}_2)$ do carbono orgânico pela produção primária bruta (Fig. 1).

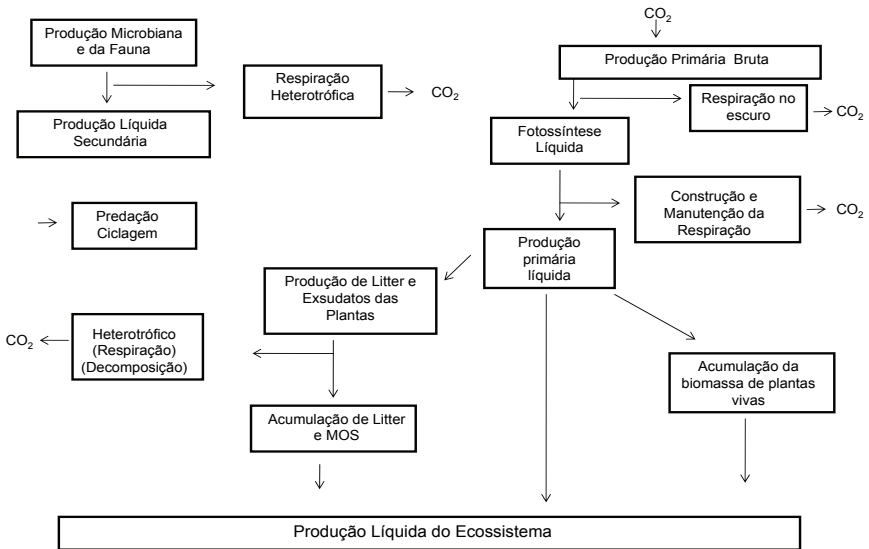


Fig. 1. Componentes da produção líquida primária bruta e da produção líquida do ecossistema (HORVATH, 2007).

Na agricultura, os resíduos de culturas constituem o recurso primário de carbono, que fornece substrato para a biota do solo e liberação do CO_2 pela respiração para a atmosfera. Assim, a decomposição de resíduos orgânicos é a principal função da microbiota do solo. A decomposição é a quebra química de um composto dentro de compostos mais simples, frequentemente acompanhada pelo metabolismo microbiano; a mineralização é a conversão de um elemento da forma orgânica para

a forma inorgânica como resultado da decomposição microbiana e a respiração é uma reação catabólica produtora de ATP, na qual cada um dos compostos orgânico e inorgânico é doador de elétrons primários e compostos exógenos são aceptores de elétrons finais (HEAL et al., 1997; WAGNER; WOLF, 1999).

Cerri et al. (1992) dividiram o ciclo do carbono no solo em três fases: fase anabólica ou de organização do CO_2 atmosférico, realizada, principalmente, pelos vegetais fotossintetizantes; fase de liberação dos produtos fotossintetizados e de sua acumulação e estabilização no solo; e a fase de mineralização de substratos orgânicos e de transferência do CO_2 à atmosfera. A maior parte da segunda e da terceira fase ocorre no solo, constituindo o ciclo interno do carbono. Destaca-se, ainda, a importância da biomassa microbiana que, embora participe com apenas 2 % a 3 % do carbono orgânico total presente no solo, controla a maior parte das reações que ocorrem no ciclo interno do carbono, equilibrando a entrada e a saída de carbono por meio da respiração edáfica.

De acordo com Swift et al. (1979), a decomposição pode ser vista como uma correlação entre três processos: lixiviação, catabolismo e fragmentação. A lixiviação é um processo físico que ocorre logo após a queda da serapilheira, onde ocorre a remoção de materiais solúveis pela água. O catabolismo envolve reações enzimáticas de produção de energia, onde envolve complexas transformações dos componentes orgânicos em unidades simples. A fragmentação é a redução de partículas em pequenos detritos, expondo, assim, uma grande área de superfície para colonização e ataque microbiano.

O produto final da decomposição dos resíduos no solo é o CO_2 , geralmente liberado na atmosfera, no entanto vários produtos intermediários podem ser produzidos devido à incompleta oxidação dos substratos, e esses intermediários podem subsequentemente sofrer oxidação. A oxidação fornece energia para os organismos heterotróficos via fosforilação oxidativa, com o máximo de rendimento de energia obtida por oxidação completa do CO_2 (WAGNER; WOLF, 1999).

Existem diversos métodos para a medição da atividade microbiana. Entre eles, o método da taxa respiratória, que se baseia na determinação de

CO₂ proveniente da respiração de microrganismos heterotróficos aeróbios durante a oxidação dos compostos orgânicos (ANDERSON, 1990). A taxa com que o carbono fixado em um substrato é oxidado a CO₂ é proporcional à quantidade de organismos mediando as reações no solo (TATE, 2000), sendo utilizada para avaliar a atividade geral da biomassa microbiana do solo, sob influência do clima, das propriedades físicas e químicas do solo e do tipo de cobertura vegetal (WAGNER; WOLF, 1999).

A atividade basal e a emissão de C-CO₂ decorrente da ação decompositora dos microrganismos heterotróficos são dependentes das condições de solo, principalmente do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) e da disponibilidade de resíduos vegetais, os quais se constituem nas principais fontes de carbono à microbiota e têm influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (COSTA et al., 2003; CIOTTA et al., 2004).

Os resíduos sofrem alterações bioquímicas, e compostos adicionais são sintetizados por microrganismos; alguns dos compostos vão polimerizar ou condensar através de reações químicas ou reações enzimáticas. Assim, a decomposição dos resíduos das plantas e a síntese da matéria orgânica do solo estão intimamente associadas (O' CONNELL; SANKARAN, 1997; WAGNER; WOLF, 1999).

Em sistemas agrícolas, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada de matéria orgânica quanto a taxa de decomposição por meio da produção de resíduos, seleção de cultivares, fertilização, procedimentos de colheita e manejo dos resíduos vegetais (SILVA; RESCK, 1997).

Em solos sob plantio direto, há o acúmulo superficial de palha e nutrientes minerais, proporcionando a formação de uma camada bastante favorável ao crescimento microbiano (MENDES et al., 1999). Gama-Rodrigues et al. (1997) compararam a atividade microbiana, quantificada pelo desprendimento de C-CO₂, em solo sob floresta natural e eucalipto, tanto na ausência como na presença de fertilizantes (N e P) e corretivos, e observaram que a fertilização propiciou aumento da atividade microbiana. Porém, nas áreas com eucalipto, originalmente menos férteis, essa atividade foi em média, 40 % inferior

à observada com floresta natural. Entre os compartimentos orgânicos do solo, a biomassa microbiana, que contém, em média, 2 % a 5 % do carbono orgânico do solo, tem sido utilizada em estudos do fluxo de C e N, ciclagem de nutrientes e produtividade das plantas em diferentes ecossistemas terrestres (GAMA-RODRIGUES, 1999). Em solos sob povoamento de eucalipto e pastagem na região do Vale do Jequitinhonha, MG, constatou-se que o uso da terra influenciou o C-CO₂ desprendido, aumentando com o cultivo de pastagem e diminuindo com o cultivo de eucalipto em região com vegetação de Cerrado nativo (PULROLNIK, et al. 2008).

Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) constataram que, nas estruturas de serapilheira de maior nível de recalcitrância, o metabolismo microbiano é mais lento e que a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C só foi reduzida com o aumento das frações recalcitrantes. A eficiência de utilização pela biomassa microbiana de frações de rápida (açúcares) e lenta decomposição (celulose) e de frações recalcitrantes (lignina) está na ordem de 60 %, 40 % e 10 %, respectivamente (HARBORNE, 1997, citado por MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004).

Sodré (1999), estudando a qualidade e a liberação de CO₂ da serapilheira e do solo de mata natural, capoeira, pastagem e de plantios de eucalipto, no sudeste da Bahia, verificou que, no solo sob eucalipto, houve menor quantidade de CO₂ evoluída, enquanto o solo sob pastagem apresentou maior evolução, o que foi justificado pela presença de raízes finas que não ficaram retidas na peneira de 2 mm ao se preparar o solo para o estudo de incubação. A produção de CO₂ foi superior quando foram adicionadas fragmentos de folhas ao solo, estimulando a atividade microbiana em razão do C mais prontamente disponível presente no material vegetal. Os valores de CO₂ acumulado para as diferentes coberturas com adição de fragmentos de folhas foram similares, em torno de 9,47 mg CO₂ g⁻¹ em 30 dias de incubação.

Skorupa (2001), estudando a acumulação e decomposição de serapilheira em povoamentos de eucalipto na região do Baixo Rio Doce, constatou que a atividade microbiana do solo, medida pela liberação

de CO_2 , foi afetada principalmente pela presença de fragmentos de folhas sobre o solo, o que contribuiu para aumentar a quantidade de CO_2 liberada, mostrando que a atividade microbiana é influenciada pelo substrato orgânico. A quantidade de CO_2 liberada até 106 dias foi de 2,96 e 17,72 mg do $\text{CO}_2 \text{ g}^{-1}$ de solo para os solos sem e com presença de fragmentos, respectivamente.

Em plantações de eucalipto, Gama-Rodrigues et al. (2005), estudando a atividade da biomassa microbiana do solo, constataram que os teores de CO e CBM (carbono da biomassa microbiana) variaram de 2,78 a 12,32 g kg^{-1} e de 43,39 a 401,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo, respectivamente. Esses valores são baixos, comparativamente aos encontrados em outras culturas, sendo, portanto, indicadores de pobre crescimento microbiano nessas condições (BEHERA; SAHANI, 2003).

A decomposição da matéria orgânica e a transformação de nutrientes por microrganismos são minimizados pela acidificação do solo (PERSSON et al., 1983). Além disso, a acidificação pode mudar a composição da comunidade microbiana pela estimulação de fungos e redução de bactérias (BÄÄTH et al., 1980). Os fungos são os principais contribuintes em peso para a biomassa microbiana do solo, sendo encontrados com comunidades variando de 10^4 a 10^6 organismos por grama de solo e podem ser responsabilizados por aproximadamente 70 % da matéria orgânica (BRANDÃO, 1992).

A dinâmica da população de microrganismos heterotróficos responsáveis pela decomposição de resíduos é regulada principalmente pela aeração, umidade, temperatura, pH e status nutricional do solo. As condições que favorecem a rápida decomposição de resíduos de plantas e multiplicação de microrganismos incluem (WAGNER; WOLF, 1999) (Fig. 2):

- a) Resíduos de plantas com baixo teor de lignina e polifenóis e menor área da partícula.
- b) Disponibilidade adequada de nitrogênio ou resíduo com baixa relação C/N.

- c) pH do solo próximo ao neutro para permitir uma diversa população microbiana ativa.
- d) Umidade e aeração do solo adequada.
- e) Temperatura de aquecimento do solo com um ótimo de 30 °C a 45 °C.

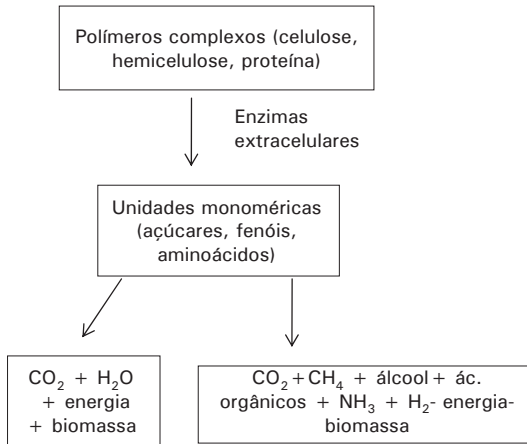


Fig. 2. Processo de decomposição pelos microrganismos

Fonte: Wolf; Leg, 1984, citado por Wagner; Wolf, 1999.

Natureza dos Materiais Orgânicos Adicionados no Solo

Resíduos de plantas

A entrada de carbono orgânico no solo ocorre pela senescência natural do material orgânico proveniente das plantas. Do carbono que entra pela senescência das folhas ou pelos resíduos de exploração e mesmo pela adubação com restos vegetais, sua distribuição no perfil é realizada via lixiviação (LAL et al., 2000).

Microrganismos

As células de microrganismos mortos do solo também servem como substrato para os microrganismos vivos. As paredes celulares dos

fungos compostas por celulose, quitina e quitosana podem ser degradadas e as paredes celulares das bactérias também são utilizadas como substrato (WAGNER; WOLF, 1999).

Componentes solúveis

Os resíduos de plantas contêm grande quantidade de compostos orgânicos solúveis em água, como os aminoácidos livres, ácidos orgânicos e açúcares que estão prontamente disponíveis para a decomposição microbiana. Esses compostos solúveis em água são geralmente utilizados por bactérias e fungos, os quais exibem rápida taxa de crescimento (WAGNER; WOLF, 1999).

Proteínas

Como polímeros de aminoácidos ligados por ligações peptídicas, elas são rapidamente decompostas no solo. Grande variedade de microrganismos produz enzimas proteolíticas (protease, peptidase) que hidrolisam proteínas dentro de aminoácidos individuais (WAGNER; WOLF, 1999).

Componentes Estruturais das Paredes Celulares das Plantas

Celulose

Nos resíduos das plantas, a maior quantidade de carbono está na forma de carboidratos, tal como os polissacarídeos estruturais. O teor de celulose em plantas geralmente aumenta nas plantas maduras, podendo ser menor que 15 % do peso seco para plantas jovens, e pode ser maior que 50 % na madeira, palha e folhas. A celulose é também um importante componente da parede celular de alguns fungos e algas (WAGNER; WOLF, 1999). Na degradação de celulose, as reações envolvidas tornam o carbono disponível para o crescimento de microrganismos (DENG; TABATABAI, 1994).

Hemicelulose

É o segundo carboidrato mais comum que constitui os resíduos das plantas e consiste de polímeros contendo hexoses (6-C açúcares), pentoses (5-C açúcares) e ácidos urônicos. Eles constituem um grupo diverso de polissacarídeos estruturais, que compreendem mais de 30 % da massa seca dos resíduos das plantas. Sua decomposição é geralmente rápida e excede a taxa da decomposição da celulose (WAGNER; WOLF, 1999).

Substâncias pécticas

Importantes componentes da parede celular de plantas ocorrem principalmente na lamela média, onde ajudam a “cimentar” a parede celular das plantas simultaneamente (WAGNER; WOLF, 1999).

Lignina

A lignina é geralmente mais resistente à decomposição biológica que outros biopolímeros principais encontrados em resíduos de planta, por causa de sua estrutura química. O teor de lignina em plantas jovens é muitas vezes menor do que 5 % por massa, enquanto, em plantas maduras, pode conter 15 % e, na madeira das árvores, pode ter níveis próximos a 35 %. A taxa de decomposição da lignina é lenta quando comparada com a celulose e hemicelulose (WAGNER; WOLF, 1999). Os organismos mais eficientes na degradação da lignina são o grupo dos basidiomicetos aeróbicos filamentosos, conhecidos como podridão-branca-da-madeira. Esses organismos fragmentam o polímero de lignina em posições irregulares dentro da cadeia lateral e estruturas do anel aromático pela síntese e excreção de enzimas que catalisam a formação de radicais livres (BALDOCK; NELSON, 1999).

Amido

O amido serve como armazenador de energia em grãos de cereais, caule, raízes, rizomas e tubérculos. Ele é composto principalmente por um polímero linear (amilose) e um polímero ramificado de glicose (amilopectina) (WAGNER; WOLF, 1999).

Principais Vias Metabólicas

Inúmeras reações químicas enzimaticamente catalisadas nas células são funcionalmente organizadas em muitas sequências de reações consecutivas chamadas vias, nas quais o produto de uma reação se torna o reagente da próxima reação (LENHINGER et al., 1993). Algumas dessas sequências de reações enzimaticamente catalisadas degradam nutrientes orgânicos em produtos finais mais simples, de forma a extrair energia química e convertê-la em uma forma utilizável pela célula. Juntos, esses processos degradativos liberadores de energia livre são designados de catabolismo (LENHINGER et al., 1993). Outras vias enzimaticamente catalisadas partem de pequenas moléculas precursoras e as convertem, progressivamente, em moléculas maiores e mais complexas, incluindo proteínas e ácidos nucleicos. Essas vias requerem a adição de energia, e, quando em conjunto, representam o anabolismo. Esse conjunto de vias enzimaticamente catalisadas constitui o metabolismo, que é a soma total das reações bioquímicas que ocorrem dentro das células vivas. O ATP (transportador universal de energia metabólica e une o catabolismo e o anabolismo) é o mais importante elo de conexão entre os componentes catabólicos e anabólicos dessas vias. Essas redes de reações catalisadas por enzimas são virtualmente idênticas em todos os organismos vivos (LENHINGER et al., 1993).

O metabolismo das fontes orgânicas varia, fortemente, no solo devido à estrutura dessas substâncias, da diversidade e da quantidade da fauna edáfica do solo. Essas variações manifestam-se em diferentes velocidades de ataque, degradação e mineralização, produzindo substâncias intermediárias diversas. Os produtos finais do processo de decomposição são o CO_2 e H_2O (e mais CH_4 , em anaerobiose) e minerais; os produtos intermediários são extremamente variáveis; desde ácidos orgânicos, aldeídos, alcoóis, açúcares, mais ou menos complexos, que passam a fazer parte da matéria orgânica como um componente do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

Assim, os microrganismos podem ser categorizados em três importantes tipos de metabolismo (SINGLETON; SAINSBURY, 1987 citado por FUHRMANN, 1999):

a) Fontes de energia

- 1) Fototrófico: utilizam a luz como recurso primário de energia para o metabolismo e crescimento, sendo os microrganismos representativos: algas e cianobactérias. Quase todos fototróficos são autotróficos e utilizam a energia capturada da luz para fixar CO_2 por meio da fotossíntese. Similarmente, a maioria dos fototróficos é litotrófico.
- 2) Quimiotrófico: as reações químicas independem da luz e são fonte metabólica de energia, ou seja, o organismo obtém energia metabolizando compostos orgânicos derivados de outros organismos. São representados por todos os organismos celulares não fotossintetizantes (Fig. 2).

b) Fontes de elétrons

- 1) Litotrófico: organismo que utiliza um substrato inorgânico como amônia ou hidrogênio como doador de elétrons no metabolismo energético. Os organismos litotróficos podem ser também fototróficos ou quimiotróficos e os microrganismos representativos desse grupo são algas e cianobactérias e bactérias nitrificantes e oxidantes de enxofre.
- 2) Organotróficos: substâncias orgânicas são utilizadas como doadoras de elétrons, normalmente associadas com quimiotróficos, embora também exibam bactérias fotossintéticas (fototróficas). São representados pelos fungos, maioria das bactérias e protozoários (Fig. 2).

c) Fontes de carbono:

- 1) Autotrófico: organismo que pode sintetizar suas próprias moléculas complexas a partir de fontes simples de carbono e nitrogênio, tais como dióxido de carbono e amônia.

A via utilizada pelos autótrofos para fixar carbono é o Ciclo de Calvin. O carbono celular é derivado na maioria ou completamente do CO_2 , representados pelas algas, cianobactérias e bactérias nitrificantes e oxidantes de enxofre.

2) Heterotrófico: o carbono celular é derivado de compostos orgânicos pré-formados, geralmente associados com quimioorganotrófico; são representadas pelos fungos, maioria das bactérias e protozoários (Fig. 3).

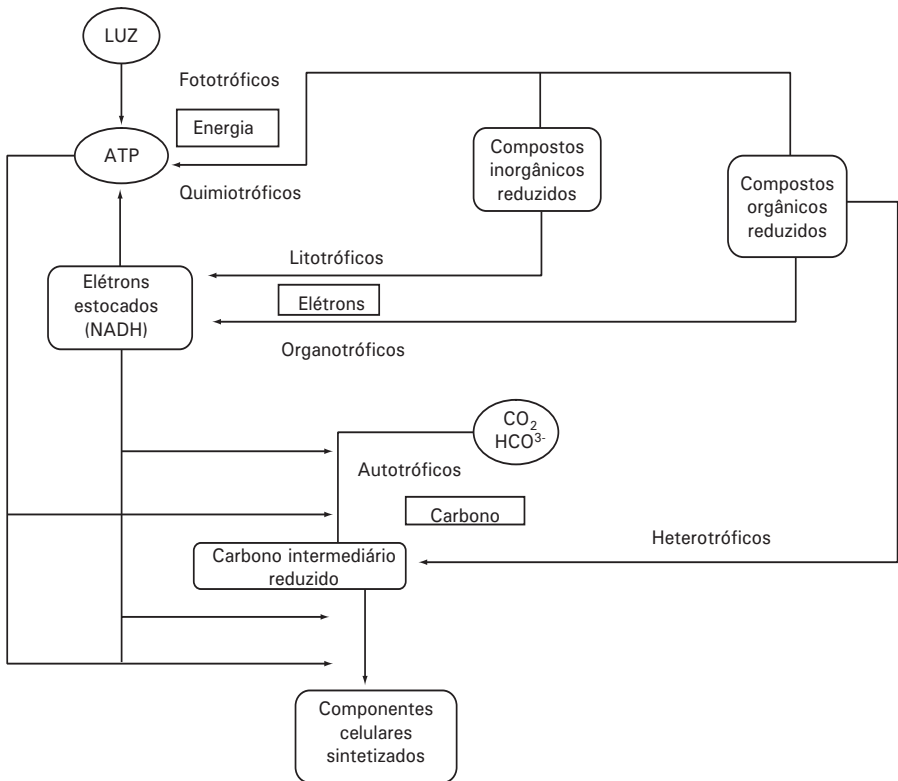


Fig. 3. Diferentes vias metabólicas utilizadas pelos microrganismos do solo para adquirirem energia celular (primeiramente ATP) para processos anabólicos, armazenando elétrons (equivalentes redutores) como NADH, e reduzindo carbono intermediário para a síntese de outros compostos celulares e polímeros.

Principais Microrganismos Envolvidos na Transformação do Carbono

a) Bactérias

A maioria das bactérias do solo é quimioheterotrófica; elas obtêm energia pela oxidação da matéria orgânica do solo e utilizam os produtos do metabolismo ou outros compostos orgânicos como recursos de carbono para o crescimento (Tabela 1) (ALEXANDER, 1999).

Tabela 1. Maiores grupos nutricionais das bactérias do solo.

Classificação nutricional	Fonte de carbono e energia	Grupos representativos
Quimioheterotróficos	Fonte de carbono: orgânico	Bactérias saprófitas
	Fonte de energia: orgânico	Maioria das bactérias simbióticas
Fotoautotróficos	Fonte de carbono: CO ₂	Cianobactéria
	Fonte de energia: energia da luz	Bactéria verde
		Bactéria azul
Quimioautotróficos	Fonte de energia: CO ₂	Bactéria nitrificante
	Fonte de energia: inorgânica	Bactéria oxidante de enxofre Bactéria oxidante de hidrogênio

Fonte: Alexander (1999).

b) Fungos

São heterotróficos, necessitando obter carbono e outros nutrientes da matéria orgânica no ambiente externo. Eles degradam a MO não viva, sendo chamados de saprófitos e são importantes agentes na mineralização, amonificação e ciclagem de carbono (MORTON, 1999).

c) Actinomicetos

Os actinomicetos e os fungos são os microrganismos mais numerosos no solo, de 10⁶ a 10⁷ e 10⁴ a 10⁶ g⁻¹ de solo, respectivamente. Os actinomicetos constituem um grupo especializado de bactérias que ocorrem nos solos. Eles são importantes agentes na degradação de materiais orgânicos no solo e contribuem para a formação da matéria orgânica estável e têm a importante função na degradação da lignina (ALEXANDER, 1999).

d) Protozoários

São organismos unicelulares, eucarióticos, os quais representam um grupo no qual a mitose e meiose se estabelecem (INGHAM, 1999).

e) Cianobactérias

Espécies podem ser encontradas sobre plantas, rochas e animais. Todas as espécies pertencentes ao grupo são unicelulares ou filamentosas, células frequentemente permanecem unidas, circundadas por um material gelatinoso (MORTON, 1999).

f) Algas verdes

Tem organização celular nas algas verdes eucarióticas. Sua organização e fisiologia se assemelham com as plantas superiores (MORTON, 1999).

Formação da Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída de um reservatório heterogêneo de carbono, sendo uma combinação de materiais, diferindo em origem, composição e dinâmica (CHRISTENSEN, 2000; CARTER, 2001). A quantidade de MOS é dependente do balanço entre produtividade primária e a taxa de decomposição (PAUL; CLARK, 1989).

A dinâmica da MOS é influenciada pelo clima, temperatura, cobertura vegetal, além do tipo de solo, seu uso e manejo. Esses fatores interferem nas características físicas e químicas da MOS. Juntos, eles regulam a qualidade e quantidade da MOS, a composição e a atividade das comunidades decompositoras, as taxas de processos tais como mineralização da MOS, lixiviação de compostos orgânicos e perdas por erosão (FELLER; BEARE, 1997; USSIRI; JOHNSON, 2003). Os materiais orgânicos que entram no solo, advindos do ambiente, das rotas de decomposição, mineralização e humificação e também como interações dos compostos orgânicos com a fração mineral, resultam na formação de uma matéria orgânica do solo heterogênea (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Assim, o carbono do solo pode se encontrar em dois compartimentos da MOS, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C-CO₂ atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. O compartimento de matéria orgânica viva não ultrapassa 4 % do COT do solo e é subdividido em três compartimentos: raízes (5 % a 10%), fauna do solo (15 %-30 %) e microrganismos (60 % a 80 %), sendo que essa fração é de grande importância no processo de transformação dos compostos orgânicos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). A biomassa microbiana é responsável por diversos processos biológicos e bioquímicos no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2003), sendo utilizada como indicadora da qualidade do solo. No processo de degradação, os microrganismos envolvidos consomem cerca de 70 % a 80 % do material orgânico envolvido, transformando-os em CO₂ e água, restando de 20 % a 30 % de compostos fenólicos e de compostos parcialmente lignificados, que darão origem as substâncias húmicas (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

A matéria orgânica não vivente contribui com 98 % do carbono em formas orgânicas (COT) do solo e é subdividida em matéria microrgânica (3 % a 20 %) e húmus. O húmus é o compartimento que consiste das substâncias húmicas (70 %) e não-húmicas (30 %) (SILVA; MENDONÇA, 2007). As substâncias húmicas têm a função de reserva de nutrientes para as plantas e são de grande importância em longo prazo para o solo (STEVENSON, 1994). As substâncias húmicas são compostas das frações: humina, ácido húmico e ácido fúlvico e têm a função de reserva de nutrientes para as plantas, sendo de grande importância a longo prazo para o solo (STEVENSON, 1994). A matéria macrorgânica ou fração leve é constituída por resíduos orgânicos, derivados, principalmente, de restos vegetais em vários estádios de decomposição e apresenta um tempo de residência no solo que varia de 1 a 5 anos (MOLLOY; SPEIR, 1977 ; JANZEN et al., 1992). Em geral, os compartimentos físicos de carbono são diferenciados pelo tamanho: fração leve (0,25 mm a 2 mm), que pode ser separada por flotação em solução de alta densidade, e fração pesada (densidade > 1,8 cm⁻³), que pode ser separada após dispersão e sedimentação (PING et al., 2001).

Dessa forma, a MOS é a soma de todas as substâncias orgânicas no solo, composta por resíduos animais e vegetais em diversos estádios de decomposição. Esses resíduos ao serem decompostos sofrem, inicialmente, decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, a ação decompositora dos microrganismos. A maior fração de carbono orgânico encontrada no solo é proveniente de resíduos de plantas. As plantas geralmente contêm 15 %-60 % de celulose, 10 %-30 % hemicelulose, 5 %-30 % de lignina e 2 %-15 % de proteína. As substâncias solúveis, como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos, podem constituir 10 % do peso seco (PAUL; CLARK, 1989) (Fig. 4).

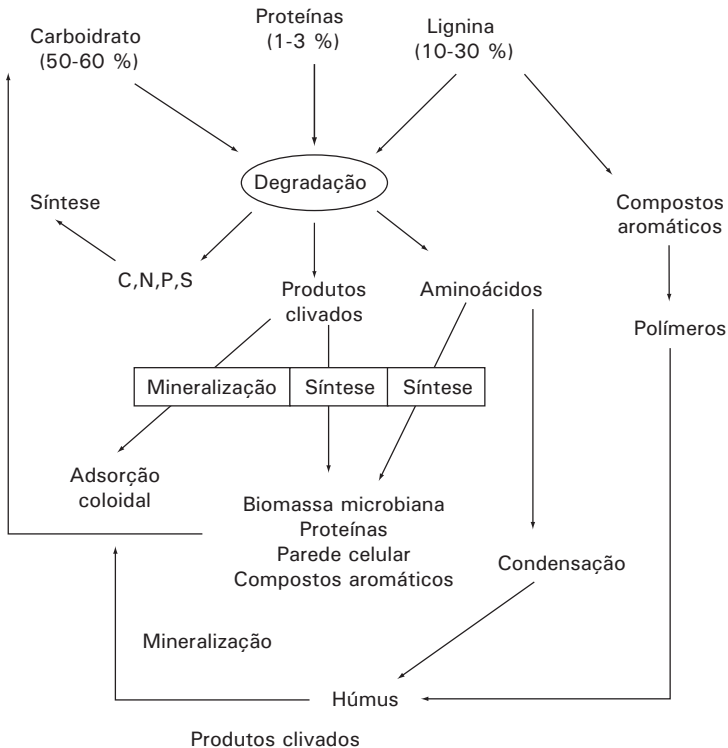


Fig. 4. Degradação de resíduos de plantas e formação da matéria orgânica do solo.

Fonte: Adaptado de Paul e Clark, 1989.

A MOS constitui-se na fonte energética dos organismos, além da quantidade, comumente alterada pelas práticas de manejo, a qualidade do material orgânico adicionado, influenciado pelas diversas espécies que compõem o sistema, terá forte influência no tamanho da população e na atividade dos organismos do solo, de modo a influenciar diferentemente na ciclagem dos nutrientes do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Armazenamento de Carbono em Sistemas de Manejo na Região de Cerrado

Os solos sob Cerrado são em sua maioria constituídos por argilas de baixa atividade (caulinitas e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio), com pouca disponibilidade de nutrientes e elevada acidez, o que lhes confere ampla dependência da MOS (RESCK et al., 1999). Assim, devido a esse forte relacionamento da matéria orgânica com outras propriedades do solo, é de grande importância a utilização de técnicas de manejo que mantenham ou aumentem o teor de matéria orgânica do solo (GRIGAL; VANCE, 2000).

O preparo excessivo e o manejo inadequado dos solos da região do Cerrado têm provocado alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas desses solos, acarretando em perdas de produtividade e degradação de recursos naturais. Os solos sob áreas de lavoura têm sofrido impactos negativos, resultando em uma profunda transformação na sua estrutura e diminuição do teor de matéria orgânica (RESCK; SILVA, 1997).

A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas pode levar ao rápido declínio dos estoques de carbono, contribuindo para o aumento da emissão de CO₂ à atmosfera (SILVA et al., 1994; LAL, 1997). A adoção de sistemas de manejo mais conservacionistas, como sistemas plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP), tem sido apontada como alternativa ao monocultivo com preparo convencional realizado no Cerrado.

As mudanças de uso e de práticas de manejo do solo, visando ao aumento do estoque de carbono no solo, representam estratégias importantes para a redução do nível de CO_2 atmosférico. Os sistemas de manejo do solo devem ter como objetivo, além da produção primária, o aumento da matéria orgânica do solo. O plantio direto aliado à rotação de culturas e pastagens é apontado como a forma de manejo do solo mais adequada para conciliar produtividade com sustentabilidade (SALTON, 2005).

A alteração da vegetação e as práticas de manejo influenciam os estoques de C, pois podem alterar a taxa de adição da matéria orgânica (MO); influenciar a taxa de decomposição da MO; alterar a eficiência da proteção física da MO pelos agregados do solo, e formação de complexos organominerais (POST; KWON, 2000). Práticas agrícolas tais como rotação de cultura, utilização de plantas de cobertura, plantio direto e fertilização apresentam grande potencial para o aumento da quantidade de carbono sequestrado, em terras cultivadas, em razão do aumento da produção da biomassa da planta (LAL; KIMBLE, 1997). Por outro lado, o solo torna-se uma fonte de CO_2 para a atmosfera quando as técnicas de manejo fazem com que as perdas por decomposição e oxidação tornem-se maiores do que as adições de C.

Em áreas de Cerrado, ainda existe a possibilidade de sistemas específicos, como as pastagens bem manejadas e o plantio direto, aumentarem os teores de carbono orgânico, contribuindo para o sequestro do C atmosférico, ao contrário dos sistemas convencionais, com revolvimento sistemático do solo, que tendem a atuar em sentido oposto (CORAZZA et al., 1999). Salton (2005), estudando sistemas de integração lavoura-pastagem no Cerrado, verificou que os sistemas de manejo contendo pastagens, de forma isolada ou em rotação com lavouras, apresentaram os maiores estoques de carbono orgânico total e maior agregação do solo. As taxas médias de acúmulo de C no solo na camada de 0 cm a 20 cm para os sistemas com rotação lavoura-pastagem foram de $0,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em relação a lavouras em plantio direto. Sistemas de integração lavoura-pastagem não diferiram

dos sistemas contínuos de pastagem e de lavoura em um Latossolo argiloso no Cerrado em relação aos estoques de carbono e nitrogênio. No entanto foi observado um acúmulo desses elementos nas camadas mais superficiais do solo (MARCHÃO, 2007). Em experimento de longa duração em áreas de integração lavoura-pecuária na Fazenda Santa Terezinha em Uberlândia, MG, foi constatado que os teores de matéria orgânica nos solos sob pastagem após um ciclo de cultura eram, em média, de 1,23 %, ao passo que, nas áreas sob cultivo de soja por períodos de um e quatro anos, eram respectivamente, de 0,84 % e 0,94 % (VILELA et al., 2001).

Segundo D'Andréa et al. (2004), a pastagem é um sistema promissor em aumentar os estoques de carbono orgânico do solo, por apresentar variações positivas em relação ao Cerrado nativo, em profundidade; o mesmo ocorre em relação ao sistema de plantio direto, desde que possua um esquema de rotação de culturas diversificado e com resíduos vegetais que favoreça esse incremento. De modo geral, a literatura científica parece indicar que, na região de Cerrado, as pastagens promovem a manutenção dos estoques de carbono, e que pastagens submetidas a boas práticas de manejo, às vezes, permitem a estocagem de C no solo superior ao observado sob a vegetação nativa (ROSCOE et al., 2006).

Num Latossolo Vermelho sob plantio direto no Cerrado, houve aumento dos estoques de carbono orgânico do solo em comparação ao preparo convencional. Esse efeito foi restrito à camada de 0 cm a 20 cm do solo e dependente do sistema de cultura, onde o acúmulo de carbono no solo sob plantio direto ocorreu preferencialmente na matéria orgânica leve, a qual é mais sensível do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo (BAYER et al., 2004).

No Oeste baiano, a perda de MOS na camada de 0 cm-15 cm, observada durante cinco anos de monocultivo de soja, resultou em decréscimos de 80 %, 76 % e 41 % do estoque inicial de matéria orgânica, respectivamente, no Neossolo quartzarênico, no Latossolo Vermelho-Amarelo (15 %-30% de argila) e no Latossolo Vermelho-

Amarelo (argila > 30 %) (SILVA, et al., 1994). Também no Oeste da Bahia, Cunha et al. (2001) avaliaram o impacto do manejo convencional sobre as características físicas do solo e constataram que o manejo adotado não foi sustentável, pois, nos primeiros três anos de uso agrícola, ocorreu grande deterioração das propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade e conteúdo de água disponível. Em solos do Domínio Cerrado sob cultivos não-intensivos como sistema plantio direto e pastagens, os solos com menos de 20 % de argila perdem em média 20 % do seu estoque total de C, considerando uma camada de 0 cm-40 cm, em relação à vegetação nativa de Cerrado, enquanto solos de textura mais fina conservam o carbono (ZINN et al., 2005).

Considerações Finais

As transformações do carbono no solo são exercidas pelos microrganismos que estão envolvidos em diversos processos como decomposição, ciclagem de nutrientes, transformações bioquímicas como nitrificação, desnitrificação, oxidação e redução de enxofre, fixação biológica do N, entre outros. A liberação de CO₂ dos solos reflete a atividade metabólica de microrganismos, plantas e animais. No Cerrado, a utilização de técnicas de manejo visando à conservação do solo permite que o carbono fique estocado no solo, representando uma estratégia importante para a redução do nível de CO₂ atmosférico.

Referências

- ALEXANDER, D. B. Bacteria and Archaea. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J., HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 44-71.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biological Biochemistry**, v. 10, p. 215-221, 1990.
- BÄÄTH, E.; BERG, B.; LOHM, U.; LUNDGREN, B.; LUNDKVIST, H.; ROSSWALL, T.; SÖDERSTRÖM, B.; WIRÉN, A. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. **Pedobiologia**, v. 20, p. 85-100, 1980.

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil Organic Matter. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. 1. ed. New York: CRC Press, 1999. p. B25-B71.

BAUHUS, J.; KHANNA, K. P. The significance of microbial biomass in forest soils. In: RASTIN, N.; BAUHUS, J. (Ed.). **Going underground: ecological studies in forest soils**. Trivan: Research Signpost, p. 77-110, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 677-683, 2004.

BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 174, p. 1-11, 2003.

BOWDEN, R. D.; NADELHOFFER, K. J.; BOONE, R. D.; MELILLO, J. M.; GARRISON, J. B. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, p. 1402-1407, 1993.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 1-15.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI, 2001. p. 9-22.

CERRI, C.; VOLKOFF, B.; ANDREAUX, F. Nature and behavior of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. **Forest Ecology and Management**, v. 38, p. 247-256, 1991.

CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira Ciência Solo, 1992. p. 73-90.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S. C.; VOLKOFF, B. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. 41 p.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. **Plant Production**, v. 30, p. 95, 2000.

- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 317-326, 2004.
- 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, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, v. 1, p. 27-36, 2001.
- D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 179-186, 2004.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do Solo: ecossistemas tropicais: subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276,
- DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Cellulase activity of soils. **Soil Biological Biochemistry**, v. 26, p. 1347-1354, 1994.
- DICK, R. P. Soil enzyme assays as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FUHRMANN, J. J. Microbial Metabolism. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 189-217.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamento de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 893-901, 2005.

GRIGAL, D. F.; VANCE, E. D. Influence of soil organic matter on forest productivity. **New Zealand Journal of Science**, v. 30, p. 169-205, 2000.

HEAL, O. W.; ANDERSON, F. M.; SWIFT, M. F. Plant litter quality and decomposition: an historical Overview. In: CADISH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 3-32.

HORVATH, W. Carbon cycling and formation of soil organic matter. In: PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. 3rd ed. Boston: Academic Press, 2007. p. 303-340.

INGHAM, E. R. Protozoa and Nematodes. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 114-131.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY SMITH, L. Light fraction organic matter in soils from long term crop rotations. **Soil Science Society America Journal**, v. 56, p. 1799-1806, 1992.

JENKINSON, D. S.; HARKNESS, D. D.; VANCE, E. D.; ADAMS, D. E.; HARRISON, A. F. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 295-308, 1992.

LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R. F. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon soil**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil Till. Res.**, v. 43, p. 81-107, 1997.

LAL, R.; KIMBLE, J. M. Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, p. 143-253, 1997.

LENHINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of Biochemistry**. 2. ed. New York: Worth Publishers, 1993. 1013 p.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária num latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MARSTORP, H. Interactions in the microbial use of soluble plant components in soil. **Biology and Fertility Soils**, v. 22, p. 45-52, 1996.

MENDES, I. C.; CARNEIRO, R. G.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J.; VARGAS, M. A. T. **Biomassa e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999.

MOLLOY, L. F.; SPEIR, T. W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. 12. Constituents of the soil light fraction. **New Zealand Journal Soil Science**, v. 20, p. 167-177, 1977.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 819-826, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

MORTON, J. B. The fungi. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. F.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. (Ed.). **Principles and applications of soil microbiology**. New York: Prentice-Hall, 1999.

O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 443-480.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. Califórnia: Academic Press, 1989. 275 p.

PERSSON, H. The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. **Plant Soil**, v. 71, p. 87-101, 1983.

PING, C. L.; MICHAELSON, G. L.; DAI, X. Y.; CANDLER, R. J. Characterization of soil organic matter. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Assessment methods of soil carbon**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 273-284.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biological**, v. 6, p. 317-327, 2000.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. **Mineralização de carbono em solos e serapilheira sob eucalipto e pastagem em área de Cerrado nativo no Vale do Jequitinhonha, MG**. Londrina: FERTBIO, 2008.

RESCK, D. V. S.; VASCONCELLOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. **Advanced Soil Science**, Boca Raton, p. 169-196, 1999.

RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos do Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1997. p. 467-446.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Org.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-41.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBSCS, 2007. p. 275-374.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do Solo. In: VERGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos do cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA- CPAC, 1997. p. 465-524.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1994. 142 p.

SKORUPA, A. L. A. **Acumulação e decomposição de serapilheira em povoamentos de eucalipto, na região do Baixo Rio Doce-MG**. 2001. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SODRÉ, G. A. **Qualidade da manta orgânica de mata natural, capoeira, pastagem e plantios de eucalipto no Sudeste da Bahia**. 1999. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

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

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition and reactions**. 2. ed. New York: John Willey, 1994. 496 p.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 377 p. (Studies in ecology, 5).

TATE, R.L. III. **Soil microbiology**. 2. ed. New York: John Wiley, 2000. 508 p.

TIETEMA, A.; WESSEL, W. W. Microbial activity and leaching during initial oak leaf litter decomposition. **Biology and Fertility of Soils**, v. 18, p. 49-54, 1994.

TORTÓRA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 6. ed. São Paulo: ArtMed, 2003. 827 p.

USSIRI, D. A. N.; JOHNSON, C. E. Characterization of organic matter in a Northern hardwood forest soil by ¹³C NMR spectroscopy and chemical methods. **Geoderma**, v. 111, p. 123-149, 2003.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. **Benefícios da integração lavoura-pecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 42).

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relation described by a profile pedotransfer function in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, p. 168-173, 2005.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 218-256.

Carbon transformations in the soil

Abstract

The microbiota acts in the process of soil organic matter decomposition and in the biogeochemical cycles, interfering in plant-nutrient availability. Microorganisms are involved in carbon transformations in soils through their activities as primary producers, decomposers or by storing carbon in their biomass. The release of CO₂ from soil reflects the metabolic activity of microorganisms, plants and animals. In Cerrado the use of management techniques aimed at soil conservation allows the increase of carbon stock in the soil represents an important strategy for reducing the level of atmospheric CO₂.

Index terms: carbon, microorganism, soil organic matter.