



## CAPÍTULO 4

# MATÉRIA ORGÂNICA E BIOLOGIA DO SOLO

Douglas Alexandre

Daniela Tomazelli

Rafaela Alves dos Santos Peron

Thiago Ramos Freitas

## 4.1 INTRODUÇÃO

A biologia do solo é a ciência que estuda as relações ecológicas dos organismos que vivem no solo com os serviços ecossistêmicos, com ênfase na produção de alimentos (Tomazelli et al., 2025). No solo, a vida é encontrada em diferentes escalas, desde seres microscópicos (fungos, bactérias e vírus) até organismos totalmente visíveis a olho nu (minhocas e besouros).

Os organismos que habitam o solo operam na fragmentação de restos vegetais e animais e na decomposição dos fragmentos em partículas cada vez menores, até retornarem ao sistema como nutrientes (N, P, C, entre outros). Esse processo forma a matéria orgânica do solo, que é definida como todo carbono presente no solo na forma de resíduos, em diversos estágios de decomposição, incluindo compostos humificados, materiais carbonizados, associados ou não a fração mineral e a parte viva composta por raízes, micro, meso e macrofauna (Roscoe e Machado, 2002; Tomazelli, Alexandre & Peron, 2024).

Esse é um processo químico e contínuo, denominado dinâmica da matéria, realizado através da atividade biológica de macrofauna, mesofauna e microrganismos do solo. Com isso, o objetivo deste capítulo é demonstrar ao leitor a importância da participação dos agentes biológicos do solo na dinâmica da matéria orgânica.

## 4.2 A VIDA NO SOLO

### 4.2.1 Diversidade biológica no solo

A diversidade biológica do solo é composta por uma grande variedade de organismos vivos que habitam os solos, como bactérias, fungos, protozoários, nematoides, minhocas, artrópodes, entre outros, que desempenham papéis fundamentais na manutenção e fertilidade do solo (FAO et al., 2020; Morales, 2021). Esses organismos exercem funções ecológicas essenciais, como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a formação e manutenção da estrutura do solo, além do controle biológico de pragas e doenças. De acordo com Bach et al. (2020), a biodiversidade edáfica está diretamente relacionada ao fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, podendo ser agrupada em dois grandes grupos: os micro-organismos e a fauna do solo (Figura 4.1).

Figura 4.1- Diversidade Biológica do Solo: Microrganismos e Fauna Edáfica por Classe de Tamanho.



Fonte: Os autores.

### 4.2.2 Microrganismos

Os microrganismos do solo constituem a base da biota edáfica e desempenham papéis importantes na produção primária acima do solo, nos ciclos biogeoquímicos, na estruturação do solo e na promoção do crescimento vegetal (Li et al., 2019; Zhao, 2023). Entre os grupos mais representativos da microbiota estão as bactérias, fungos e actinobactérias, cujas funções são complementares e fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres.

As **bactérias** são extremamente abundantes e diversificadas no solo. São responsáveis, por exemplo, pela decomposição da matéria orgânica, convertendo resíduos vegetais e animais em formas assimiláveis por outros organismos (Glick, 2012). Também exercem funções como a fixação biológica de nitrogênio, especialmente por bactérias dos gêneros *Rhizobium* (simbióticas) e *Azotobacter* (livres) (López-Gutiérrez & Orozco-Mosqueda, 2022), além da transformação de nutrientes essenciais para plantas, como a nitrificação, processo em que o amônio é convertido em nitrito e posteriormente em nitrato por bactérias nitrificantes, e a solubilização de fosfatos por meio da secreção de ácidos orgânicos (Smith et al., 2020).

Os **fungos** contribuem para a decomposição de resíduos mais complexos, como a celulose e a lignina, além de formarem associações simbióticas com raízes de plantas, o que aumenta significativamente a absorção de fósforo e outros nutrientes (Johnson; Graham, 2019). Atuam ainda na estabilização da estrutura do solo, pela formação de agregados com partículas minerais.

As **actinobactérias**, embora menos visíveis, possuem grande importância ecológica nos ecossistemas. São conhecidas por sua capacidade de produzir antibióticos naturais, como a estreptomicina, e atuam na decomposição de materiais orgânicos complexos e no controle biológico de patógenos (Kumar et al., 2021). Adicionalmente, participam da biorremediação, promovendo a degradação de contaminantes orgânicos em solos poluídos (Bhattacharyya; Jha, 2016).

#### 4.2.3 Fauna do solo

A fauna do solo é composta pelos organismos que vivem uma parte ou todo o seu ciclo de vida no solo (Moreira; Siqueira; Brussaard, 2008; Lavelle; Spain, 2001). Sua diversidade inclui organismos de diferentes tamanhos e funções, desde microrganismos pequenos até invertebrados maiores. Pode ser classificada em três grupos principais, com base no seu tamanho corporal: microfauna (<0,2 mm), mesofauna (0,2–2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (Petersen; Luxton, 1982). Cada grupo tem um papel essencial na estruturação do solo, decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Wall et al., 2016; Nielsen et al., 2015).

**Microfauna:** composta por organismos microscópicos, incluindo protozoários, nematoides e alguns rotíferos (Fierer et al., 2009). Esses organismos atuam na decomposição da matéria orgânica, facilitando a liberação de nutrientes essenciais, e na regulação de patógenos. As funções ecológicas dos microrganismos do solo incluem benefícios como a mineralização de nutrientes, a degradação de compostos tóxicos e a regulação de agentes patogênicos (Delgado-Baquerizo et al., 2020). Sua abundância no solo está associada à disponibilidade de umidade e nutrientes, contribuindo para a produção de biomassa e a conservação da biodiversidade (Safaei et al., 2019).

**Mesofauna:** abrange invertebrados de tamanho intermediário, geralmente entre 0,1 e 2 mm (Morais et al., 2010), como ácaros, colêmbolos, diplópodes juvenis e enchytraeídeos. Esses organismos habitam os espaços entre as partículas do solo e a serapilheira. São fundamentais para a estruturação do solo e promoção de interações biológicas (Bardgett & Van Der Putten, 2014; Ruiter et al., 2020). A mesofauna melhora a porosidade do solo, a aeração e a infiltração de água. É sensível às práticas de uso da terra, sendo indicadores valiosos da saúde do ecossistema terrestre (Duran-Bautista et al., 2020; Baretta et al., 2011). Além disso, serve como presa para organismos maiores, integrando ciclos alimentares (Peron et al., 2023; Chen et al., 2024).

**Macrofauna:** constituída por invertebrados com mais de 10 mm de comprimento e/ou 2 mm de diâmetro, como minhocas, formigas, centopeias, besouros e outros (Aquino et al., 2008; Brown et al., 2009; Baretta et al., 2011). Esses organismos são responsáveis pela fragmentação da serapilheira (Prescott & Vesterdal, 2021) e pela redistribuição do carbono e do nitrogênio entre frações de matéria orgânica particulada e matéria orgânica associada a minerais (Craig et al., 2022). Também atuam diretamente na ciclagem de nutrientes, influenciando a disponibilidade de elementos essenciais como nitrogênio e fósforo para as plantas (Zhang et al., 2018). A atividade de bioturbação promovida por esses invertebrados contribui para a formação de agregados estáveis, melhorando a retenção de água e protegendo a matéria orgânica da decomposição acelerada. Essa atividade promove ainda a aeração, infiltração de água e alteração do microambiente do solo, afetando os teores de nutrientes como ferro, cálcio, magnésio e alumínio, e influenciando amplamente o ciclo da matéria orgânica (Vidal et al., 2023). A diversidade e abundância da macrofauna são influenciadas por fatores como uso do solo, práticas agrícolas, contaminantes e mudanças climáticas, tornando esses organismos excelentes bioindicadores da saúde do solo (Santos et al., 2024).

#### 4.2.4 Funções Ecológicas

Os organismos do solo exercem um papel essencial na manutenção da funcionalidade dos ecossistemas terrestres, uma vez que influenciam processos físicos e químicos fundamentais para a produtividade vegetal, a qualidade ambiental e o equilíbrio ecológico. Suas funções são diversas, podendo ser agrupadas em categorias principais: decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, formação da estrutura do solo, supressão de patógenos e promoção do crescimento vegetal, além da fixação biológica de nitrogênio e o estabelecimento de micorrizas (Figura 4.1) (Hendrix et al., 1986; Lavelle et al., 1997; Fortuna, 2012).

Quando essas relações ecológicas são preservadas, os organismos edáficos asseguram a funcionalidade do solo, permitindo que ele sustente a vida como meio físico e habitat para animais, plantas e demais organismos. A atividade biológica no solo também é determinante na manutenção do ciclo da água e na dinâmica dos nutrientes essenciais à produção agrícola.

Figura 4.2 – Principais Funções Ecológicas dos Organismos do Solo



Fonte: Os autores.

A seguir, são descritas algumas dessas funções conforme os grupos biológicos envolvidos, como oligoquetas, artrópodes e microrganismos, e sua relação com os processos que garantem a funcionalidade do solo:

#### 4.2.5 Decomposição e ciclagem de nutrientes

A matéria orgânica é um componente indispensável para a manutenção da vida no solo. Sua presença, seja na forma humificada ou em decomposição, sustenta a bioestrutura e a produtividade dos ecossistemas edáficos (Lehmann & Kleber, 2015). Embora amplamente reconhecido, o conceito de matéria orgânica muitas vezes é utilizado de maneira imprecisa, o que compromete a compreensão de suas múltiplas funções no solo.

Segundo Primavesi (1986), matéria orgânica é toda substância morta presente no solo, oriunda de plantas, microrganismos e excreções animais, não incluindo raízes ou organismos vivos. Importante destacar que nem toda matéria orgânica é húmus, e nem todo húmus corresponde à totalidade da matéria orgânica.

A decomposição da matéria orgânica representa uma via fundamental de reciclagem de nutrientes. Microrganismos como bactérias e fungos são os principais agentes da mineralização, processo pelo qual resíduos orgânicos são transformados

em formas minerais assimiláveis pelas plantas, liberando nutrientes como nitrogênio, fósforo, enxofre e potássio (Tomazelli et al., 2024). A fauna do solo — composta por insetos, colémbolos, aracnídeos, oligoquetas, entre outros — fragmenta os resíduos vegetais e estimula a atividade microbiana, acelerando a decomposição. A interação entre esses grupos biológicos mantém o fluxo contínuo de nutrientes no sistema solo-planta, assegurando a fertilidade e o potencial produtivo do solo (Moreira; Siqueira, 2006).

### 4.3 FORMAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo é formada por meio da agregação de partículas (areia, silte e argila) em aglomerados estáveis, chamados de agregados. Esse processo é diretamente influenciado pela atividade dos organismos do solo. Microrganismos produzem substâncias adesivas que favorecem a coesão entre partículas, enquanto a fauna edáfica, por meio da escavação e movimentação de materiais, contribui fisicamente para a formação e reorganização dos agregados.

Esses agregados proporcionam maior porosidade ao solo, favorecendo a infiltração de água, a circulação de ar e o desenvolvimento radicular. Dessa forma, a estrutura do solo condiciona sua capacidade de reter água e nutrientes, proteger a matéria orgânica e resistir à erosão, fatores essenciais à sua fertilidade e resiliência.

### 4.4 SUPRESSÃO DE PATÓGENOS E PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETAL

Os organismos do solo também participam ativamente do controle biológico de patógenos e da promoção do crescimento vegetal. Microrganismos benéficos competem com organismos patogênicos por espaço e recursos, além de produzirem compostos antibióticos e estimularem as defesas naturais das plantas. Esses mecanismos reduzem a incidência de doenças e fortalecem as plantas frente a estresses bióticos.

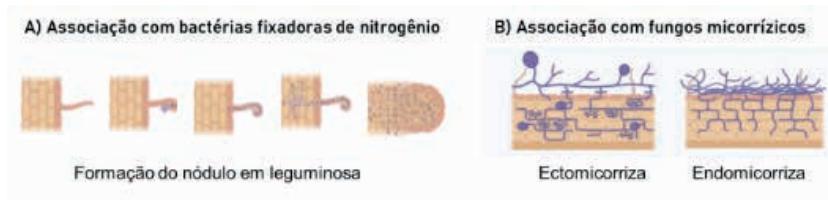
Além disso, diversos microrganismos produzem substâncias bioativas, como hormônios vegetais, que promovem o crescimento das raízes e melhoram a absorção de nutrientes. A fauna edáfica contribui indiretamente para esses processos ao influenciar a distribuição da matéria orgânica e modular a atividade microbiana no solo.

### 4.5 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E MICORRIZAS

A fixação biológica de nitrogênio é realizada por bactérias que convertem o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas. Essas bactérias podem viver livremente no solo ou em associação simbiótica com raízes de leguminosas. Esse processo reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados e contribui para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Figura 4.3).

As micorrizas, por sua vez, são associações simbióticas entre fungos e raízes de plantas, que ampliam a área de absorção do sistema radicular e aumentam a disponibilidade de nutrientes, principalmente o fósforo (Figura 7.3). Essas associações também melhoram a tolerância das plantas ao estresse hídrico e às doenças, além de promoverem a estabilidade da estrutura do solo.

Figura 4.3 – Interações Simbióticas entre Plantas e Microrganismos:  
Fixação Biológica de Nitrogênio e Micorrizas



Fonte: Os autores.

Representação esquemática de interações simbióticas importantes para a nutrição vegetal: (A) Formação do nódulo radicular em leguminosas por bactérias fixadoras de nitrogênio; (B) Associação entre raízes e fungos micorrízicos, evidenciando os dois principais tipos – ectomicorriza e endomicorriza.

## 4.6 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente heterogêneo, composta por diferentes frações que se distinguem pela composição, estabilidade e tempo de ciclagem no solo. Na composição do solo, a proporção de matéria orgânica está em torno de 5 %. Dentro dessa fração relativamente pequena de matéria orgânica, encontra-se 95 % do carbono orgânico disponível para os processos de mineralização. Desta fração, cerca de 5 % compreendem a matéria orgânica viva, composta em sua maioria por microrganismos vivos, também conhecido como biomassa microbiana (Moreira; Siqueira, 2006; Tomazelli et al., 2025).

A matéria orgânica viva é composta pela **biomassa microbiana** é a fração de carbono presente nos microrganismos, e é representada por fungos e bactérias e, em menor proporção, por vírus e protozoários (Fier, 2017; Tomazelli et al., 2025). É um dos compartimentos mais dinâmicos e de onde vem as enzimas que fazem a degradação dos constituintes do material orgânico, como proteínas, ligninas, celulose, entre outros (Bhattacharyya et al., 2022). Essa fração possui um tempo de ciclagem extremamente rápido, variando de dias a semanas, e atua diretamente

na decomposição e mineralização da matéria orgânica, promovendo a liberação de nutrientes essenciais como carbono, nitrogênio e fósforo (Moreira & Siqueira et al., 2006).

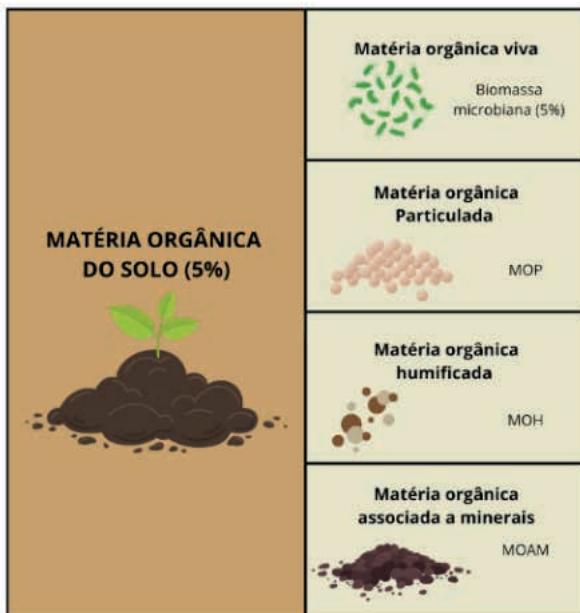
Dentro da matéria orgânica morta, temos a **matéria orgânica particulada (MOP)**, também conhecida como fração leve (Rossi et al., 2012). É composta por resíduos orgânicos em estágio inicial de decomposição, ainda reconhecíveis, como fragmentos de raízes e folhas e o tempo de ciclagem dessa fração é relativamente curto, variando de semanas a poucos anos, considerada sensível as práticas agrícolas (Rossi et al., 2012). Sua função principal é fornecer nutrientes de forma mais imediata para as plantas e microrganismos do solo (Joshi et al., 2024).

Com maior estabilidade e complexidade química, encontramos a **matéria orgânica humificada (MOH)**, formada pelas substâncias húmicas como os ácidos húmicos, fúlvicos e o húmus, originado da hidrólise da lignina através da ação microbiana (Senesi et al., 2009). E possui tempo de ciclagem mais longo, podendo durar de décadas a séculos (Moreira; Siqueira, 2006). A matéria orgânica humificada é fundamental para a estruturação do solo, retenção de água e nutrientes, além de contribuir para a estabilidade da matéria orgânica (Martin-Neto et al., 2023).

A **matéria orgânica associada a minerais (MOAM)**, também chamada de fração organomineral, os compostos orgânicos encontram-se intimamente ligados às partículas minerais do solo, especialmente argilas e siltes (Rossi et al., 2012). Essa associação promove uma proteção física e química contra a decomposição, fazendo com que esse compartimento tenha o tempo de ciclagem mais longo de todos, podendo se estender por séculos ou até milênios. Além de representar o maior reservatório de carbono estável no solo, essa fração tem papel importante na resiliência dos ecossistemas e no sequestro de carbono (Yu et al., 2022).

Todos os compartimentos da Matéria orgânica (Figura 4.4), sendo vivo (Biomassa microbiana) ou morto (MOP, MOH, MOAM) são fundamentais para a agregação do solo, estruturação, capacidade de reter umidade e fertilidade e o suporte a vida do solo, que mantém a ciclagem da Matéria orgânica sempre ativa.

Figura 4.4 – Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e suas Frações Constituintes.



Fonte: Os autores.

A matéria orgânica do solo representa aproximadamente 5% da composição do solo e é composta por quatro principais frações: biomassa microbiana viva, matéria orgânica particulada (MOP), matéria orgânica humificada (MOH) e matéria orgânica associada a minerais (MOAM). Cada fração desempenha funções ecológicas e químicas distintas, influenciando a fertilidade e estabilidade do solo.

## 4.7 MANEJO SUSTENTÁVEL DA BIOLOGIA E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Práticas agrícolas que preservam a matéria orgânica são fundamentais para a agricultura e manutenção da vida no solo. Entre essas práticas, destacam-se a rotação de culturas, plantio direto, consórcio gramínea e leguminosa, cobertura vegetal e adubação verde, sistemas de integração, ntemperizado, entre outras práticas.

A rotação de culturas é uma prática agrícola que consiste na sucessão de diferentes tipos de plantas em uma mesma área ao longo do tempo, com o objetivo de melhorar a produtividade, preservar a fertilidade do solo e reduzir o uso de defensivos químicos (Lourente et al., 2010). Essa é uma prática que aumenta a

atividade de micro e macroorganismos benéficos, devido à diversificação de fontes de vegetais, favorecendo a simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que contribuem no aumento da produção de massa, intensificam a fotossíntese e ajudam a drenar carbono da atmosfera para o solo (Garcia, Li; Rosalem, 2013; Raphael et al., 2016).

O Plantio direto é uma prática agrícola conservacionista essencial para regiões tropicais e subtropicais. Esse sistema consiste na semeadura direta do solo coberto com uma camada de palha, evitando o revolvimento e exposição da Matéria orgânica (MO). Essa cobertura protege não só a matéria orgânica da degradação, mas reduz a erosão, conserva a umidade e favorece a atividade microbiana. Além disso, o plantio direto melhora a estrutura do solo, aumenta sua capacidade de retenção de água e contribui para o sequestro de carbono, promovendo um sistema agrícola mais sustentável (Tormena et al., 2018; Man et al., 2021).

O consórcio entre gramínea e leguminosa contribui significativamente para o aporte de nitrogênio no solo, através da fixação biológica do nitrogênio (FBN). Esse processo é realizado por bactérias associadas às raízes das leguminosas, que reduzem o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) a amônia ( $NH_3$ ), uma forma assimilável pelas plantas. Durante a senescência do material vegetal, a biomassa das leguminosas é decomposta e o nitrogênio orgânico é liberado no solo, promovendo a mineralização da matéria orgânica e estimulando a atividade de microrganismos decompositores, como bactérias e fungos. Além de melhorar a fertilidade do solo, essa prática reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e contribui para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A adubação verde é uma prática que se baseia na utilização de espécies vegetais, principalmente leguminosas, cultivadas com o objetivo de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Calegari et al., 1993), na manutenção da matéria orgânica, além da fixação de nitrogênio e reciclagem de nutrientes, a fim de tornar o solo mais fértil, recuperando solos degradados, melhorando os índices de produção de solos pobres e conservando solos altamente produtivos (Espíndola et al., 1997; Abranches et al., 2021; Silva et al., 2024).

## 4.8 MÉTODOS DE ANÁLISE DA BIOLOGIA E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

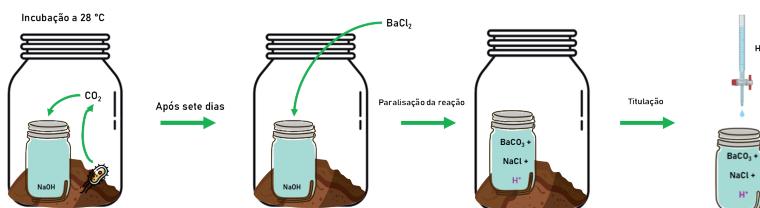
A avaliação da qualidade biológica do solo e da matéria orgânica é fundamental para compreender a funcionalidade dos ecossistemas edáficos e subsidiar práticas agrícolas sustentáveis (Kimpe; Warkentin, 1998). Diversos métodos têm sido desenvolvidos para medir a atividade biológica, a presença de microrganismos e o conteúdo e qualidade da matéria orgânica, fornecendo indicadores importantes sobre a saúde do solo. A seguir, são apresentados os principais métodos utilizados para esse fim.

## 4.9 INDICADORES BIOLÓGICOS

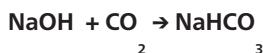
A análise biológica do solo visa medir a atividade microbiana e fornecer informações sobre a saúde e funcionalidade do ecossistema edáfico. Os dois principais indicadores são:

## 4.10 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS)

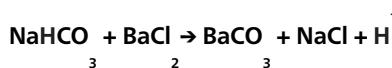
A respiração basal do solo mede a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) produzida pela atividade respiratória dos microrganismos no solo (Silva et al., 2007). O método mais comum consiste na incubação de amostras de solo em frascos fechados, onde a liberação de  $\text{CO}_2$  é absorvida por uma solução alcalina (geralmente NaOH ou KOH) e posteriormente titulada com ácido. A quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado é proporcional à atividade biológica. Altos níveis indicam maior atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica (Jenkinson; Powlson, 1976).



O NaOH colocado no frasco pequeno, captura  $\text{CO}_2$  liberado pela respiração microbiana do solo, formando bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ):



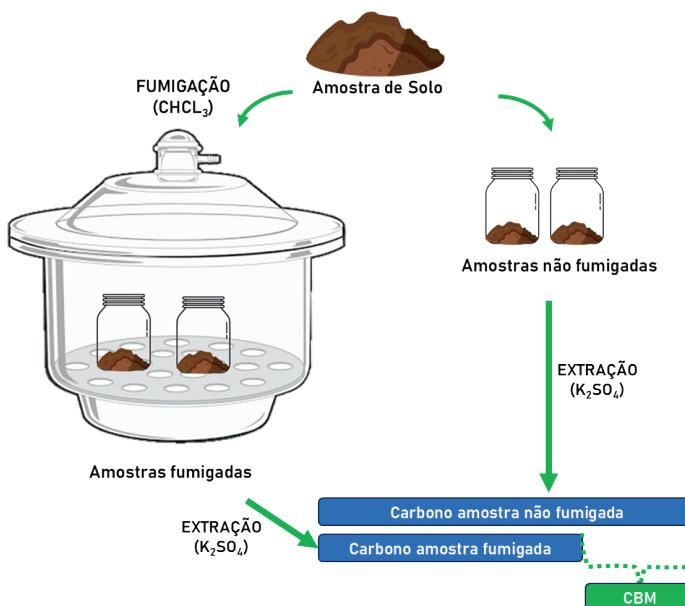
Após a paralisação com cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ) é formado carbonato de bário ( $\text{BaCO}_3$ ) e liberado  $\text{H}^+$  que torna o meio ácido:



Essa acidificação permite a titulação do excesso de NaOH não reagido com ácido padrão ( $\text{HCl}$ ), possibilitando quantificar indiretamente o  $\text{CO}_2$  liberado pela respiração microbiana, com base na diferença entre o NaOH inicial e o que sobrou.

## 4.11 CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (CBM)

O Carbono da Biomassa microbiana representa a quantidade de microrganismos vivos no solo. Pode ser medida por métodos diretos, como a contagem celular por microscopia, ou métodos indiretos, como a **Fumigação-extracção** que compara o carbono extraído de amostras de solo fumigadas com clorofórmio (que mata os microrganismos) e não fumigadas, permitindo estimar a biomassa microbiana com base na diferença (Vance et al., 1987).



Esses indicadores são amplamente utilizados para monitorar o impacto de práticas agrícolas, o uso do solo e mudanças ambientais, permitindo diagnósticos da saúde do solo.

*qCO<sub>2</sub> (quociente metabólico do solo)*

O quociente metabólico do solo é o índice obtido pela razão entre a respiração basal do solo (CO<sub>2</sub> liberado) e a biomassa microbiana. Ele reflete a eficiência metabólica da microbiota. Valores altos de QCO<sub>2</sub> conforme equação 1 abaixo indicam um sistema estressado ou degradado, onde os microrganismos consomem mais energia para sobreviver, enquanto valores baixos indicam um sistema estável e eficiente na utilização de recursos (Anderson; Domsch, 1993; Silva et al., 2007).

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM} \quad (1)$$

Em ambientes degradados, como solos compactados, contaminados ou com baixa disponibilidade de nutrientes, os microrganismos precisam despender mais energia apenas para manter suas funções vitais, o que resulta em uma maior liberação de CO<sub>2</sub> por unidade de biomassa. Nesse cenário, há uma perda maior de carbono na forma de CO<sub>2</sub> para a atmosfera do que o acúmulo de carbono na biomassa microbiana, caracterizando um sistema ineficiente em termos de ciclagem e retenção de carbono. Por isso, o qCO<sub>2</sub> é um indicador sensível de distúrbios ambientais e da qualidade biológica do solo.

## 4.12 ANÁLISES DA MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica do solo é um componente chave da fertilidade, estabilidade estrutural e capacidade de retenção de nutrientes. As análises a seguir ajudam a avaliar tanto a **quantidade** quanto a **qualidade** dessa matéria.

## 4.13 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)

O Carbono orgânico total quantifica o teor total de carbono presente na matéria orgânica do solo. É geralmente realizado por meio de combustão seca em analisadores elementares (como CHNS), onde o carbono é oxidado a CO<sub>2</sub> e medido por detecção infravermelha, ou por métodos de oxidação úmida (Walkley-Black), onde o carbono orgânico é oxidado por dicromato de potássio em meio ácido. O COT é um dos principais indicadores da quantidade de matéria orgânica no solo, sendo útil para avaliar a fertilidade e o potencial de sequestro de carbono.

## 4.14 FRAÇÕES HÚMICAS

As frações húmicas correspondem aos diferentes compostos orgânicos presentes no solo, classificados conforme sua solubilidade:

- **Ácidos fúlvicos:** solúveis em água em todos os pHs.
- **Ácidos húmicos:** solúveis em meio alcalino, mas insolúveis em ácido.
- **Humina:** insolúvel tanto em ácidos quanto em bases.

## TESTE SEU CONHECIMENTO ☺

1. Quais são os principais grupos de organismos que compõem a biota do solo e de que forma eles contribuem para os serviços ecossistêmicos?
2. Explique a diferença entre matéria orgânica viva e matéria orgânica morta no solo. Quais são as principais frações de cada uma?
3. Descreva pelo menos três funções ecológicas desempenhadas pelos organismos do solo e sua importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.
4. Quais práticas de manejo favorecem a manutenção ou o aumento da matéria orgânica do solo? Justifique sua resposta com base nas funções da MOS.
5. O que é o quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ) e o que ele indica sobre a saúde do ecossistema edáfico?
6. Compare os métodos de análise “Respiração Basal do Solo” e “Carbono da Biomassa Microbiana”. Quais informações eles fornecem e como podem ser aplicados na avaliação da qualidade biológica do solo?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANCHES, M. de O.; SILVA, G. A. M. da; SANTOS, L. C. dos; PEREIRA, L. F.; FREITAS, G. B. de. Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e7410716351, 2021.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for  $CO_2$  ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Chemistry*, Oxford, v. 25, n. 3, p. 383-395, 1993.

AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (org.). *Biodiversidade do solo em ecossistemas tropicais*. Lavras: Editora da UFLA, 2008. P. 143-170.

BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515, n. 7528, p. 505-511, 2014.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos em Ciec. Faça Solo*, v. 7, p. 119-170, 2011.

BHATTACHARYYA, S. S. et al. Soil carbon sequestration – an interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Science of the Total Environment*, v. 815, p. 152928, 2022.

BROWN, G. G. et al. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 51 p.

CALEGARI, A. et al. Aspectos gerais de adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (org.). *Adubação verde no sul do Brasil*. [S. l.: s. n.], 1993. P. 1–55.

CHEN, W. et al. Increased connections among soil microbes and microfauna enhance soil multifunctionality along a long-term restoration chronosequence. *Journal of Applied Ecology*, v. 61, n. 6, p. 1359–1371, 2024.

CRAIG, M. et al. Rapidly decomposing litter increases soil carbon in temperate forests, but not through microbial physiological traits. *Nature Communications*, v. 13, p. 1229, 2022.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring Soil Biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209–213, 1976.

MORAIS, J. W. de; OLIVEIRA, V. dos S.; DAMBROS, C. de S.; TAPIA-CORAL, S. C.; ACIOLI, A. N. S. Mesofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo no alto rio Solimões, AM, Brasil. *Neotropical Entomology*, v. 39, n. 2, p. 145–152, 2010.

DELGADO-BAQUERIZO, M. et al. Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*, v. 4, n. 2, p. 210–220, 2020. DOI: 10.1038/s41559-019-1084-y.

DURAN-BAUTISTA, E. H. et al. Cupins como indicadores de serviços ecossistêmicos do solo em paisagens amazônicas transformadas. *Ecological Indicators*, v. 117, p. 106550, 2020.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. *Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável*. [S. l.], 1997.

FIERER, N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, v. 15, p. 579–590, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>.

FIERER, N. et al. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land use. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 12, p. 862–872, 2009. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.01.011.

FILGUEIRAS, J. A. et al. Soil mesofauna and nutrient cycling: a review. *Applied Soil Ecology*, v. 146, p. 103353, 2020.

GARCIA, R. A.; LI, Y.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 5, p. 1724–1731, 2013.

JOSHI, P. et al. Complexation by particulate organic matter alters iron redox behavior. *ACS Earth and Space Chemistry*, v. 8, n. 2, p. 310–322, 2024.

KIMPE, C. R.; WARKENTIN, B. P. Soil functions and the future of natural resources. *Advances in GeoEcology*, [S.I.], v. 31, p. 3-10, 1998.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. *Soil ecology*. Dordrecht: Springer, 2001.

LEITE, L. F. C. *Matéria orgânica*. Documentos EMBRAPA, 2004.

LOURENTE, E. R. P. et al. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 829–842, 2010.

MAN, M. et al. Long-term crop rotation and different tillage practices alter soil organic matter composition and degradation. *Soil and Tillage Research*, v. 209, p. 104960, 2021.

MARTIN-NETO, L. et al. Estrutura e natureza química da matéria orgânica do solo. In: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P. (org.). *Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical*. P. 145–184, 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. *Biologia e fertilidade do solo*. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2008.

NIELSEN, U. N. et al. Diversity of soil fauna affects soil processes: a study across habitats. *Ecology Letters*, v. 18, n. 7, p. 641–651, 2015.

ORMENA, C. A. et al. Qualidade estrutural e carbono do solo em sistemas de plantio direto com diferentes rotações de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, 2018.

PERON, R. A. S. dos et al. Grassland management intensification affects the soil fauna in a subtropical highland. *Annals of Applied Biology*, 2023.

PETERSEN, H.; LUXTON, M. A survey of the main animal taxa of detritus food web. *Oikos*, v. 39, p. 293–294, 1982.

PRESCOTT, C. E.; VESTERDAL, L. Decomposition and transformations along the litter-to-soil organic matter continuum in forest soils. *Forest Ecology and Management*, v. 498, p. 119522, 2021.

RAPHAEL, J. P. et al. Soil organic matter in crop rotations under no-till. *Soil and Tillage Research*, v. 155, p. 45–53, 2016.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. *Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Dourados: EMBRAPA, 2004.

ROSSI, C. Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 38–46, 2012.

SAFAEI, M. et al. Evaluation of land use/cover change impacts on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Ecological Indicators*, v. 106, p. 105538, 2019.

SANTOS, J. P. et al. Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in different land uses. *Ecological Indicators*, v. 150, 2024.

SENESI, N.; XING, B.; HUANG, P. M. *Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009. 884 p.

SILVA, R. G. S. R. da et al. Rotação de cultura com o uso de adubação verde no plantio de milho: uma possível alternativa para aumento de produção e diminuição dos custos com adubação mineral. *Scientific Electronic Archives*, v. 17, n. 6, 2024.

SILVA EE et al. Determinação de Respiração Basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>). Embrapa; 2007. P. 4. Comunicado Técnico, no. 99. 2007.

SOUZA, M. H. et al. Macrofauna do solo. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, 2015.

TOMAZELLI, D. et al. Transformações microbianas do carbono no solo. In: TOMAZELLI, D.; GOSS-SOUZA, D.; OLIVEIRA FILHO, L. C.; KLAUBERG-FILHO, O. (org.). *Biologia do solo: conceitos e aplicações nas ciências agrárias*. Rio de Janeiro: Freitas e Bastos, 2025.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.

VIDAL, A. et al. The role of earthworms in agronomy: consensus, new insights and remaining challenges. *Advances in Agronomy*, v. 181, p. 1–78, 2023.

WALL, D. H. et al. Soil biodiversity and ecosystem services: the bridge between agriculture and conservation. *Agricultural Ecosystems & Environment*, v. 226, p. 24–34, 2016.

YU, W. et al. Where and why do particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAOM) differ among diverse soils? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 172, p. 108756, 2022.

ZHANG, W. et al. Impacts of soil fauna on nitrogen and phosphorus release during litter decomposition. *Journal of Forestry Research*, v. 29, p. 147–155, 2018.