



C A P Í T U L O 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, colêmbolos, 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).

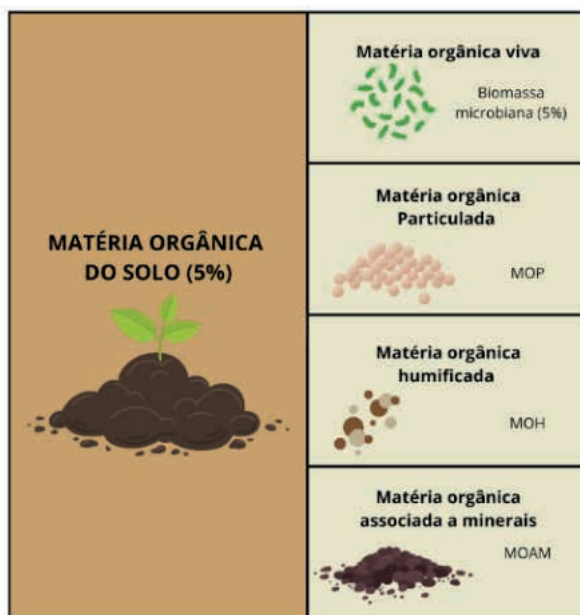
Dentro da matéria orgânica morta, temos a **matéria orgânica particulada (MOP)**, também conhecida como fração leve (Rossi et al., 2012). É composta por resíduos orgânicos em estágio inicial de decomposição, ainda reconhecíveis, como fragmentos de raízes e folhas e o tempo de ciclagem dessa fração é 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 mantem 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

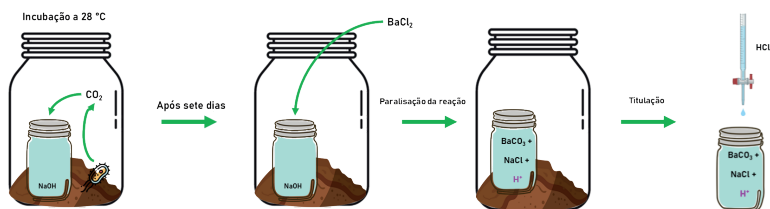
A avaliação da qualidade biológica do solo e da matéria orgânica é fundamental para compreender a funcionalidade dos ecossistemas edáficos e subsidiar práticas agrícolas sustentáveis (Kimpe; Warkentin, 1998). Diversos métodos têm sido desenvolvidos para medir a atividade biológica, a presença de microrganismos 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

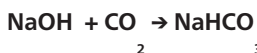
A análise biológica do solo visa medir a atividade microbiana e fornecer informações sobre a saúde e funcionalidade do ecossistema edáfico. Os dois principais indicadores são:

4.10 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS)

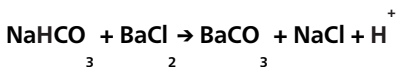
A respiração basal do solo mede a emissão de dióxido de carbono (CO_2) produzida pela atividade respiratória dos microrganismos no solo (Silva et al., 2007). O método mais comum consiste na incubação de amostras de solo em frascos fechados, onde a liberação de CO_2 é absorvida por uma solução alcalina (geralmente NaOH ou KOH) e posteriormente titulada com ácido. A quantidade de 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 CO liberado pela respiração microbiana do solo, formando bicarbonato de sódio (NaHCO_3):



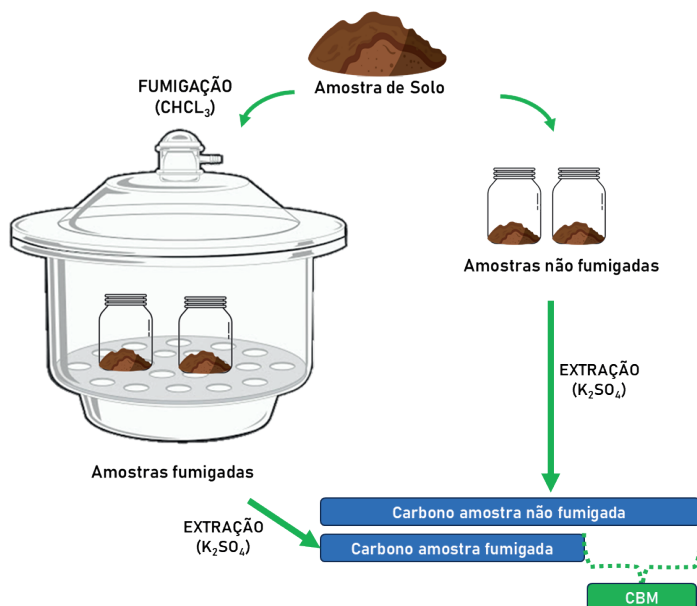
Após a paralisação com cloreto de bário (BaCl_2) é formado carbonato de bário (BaCO_3) e liberado H^+ que torna o meio ácido:



Essa acidificação permite a titulação do excesso de NaOH não reagido com ácido padrão (HCl), possibilitando quantificar indiretamente o 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-extração** 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.

qCO₂ (quociente metabólico do solo)

O quociente metabólico do solo é o índice obtido pela razão entre a respiração basal do solo (CO₂ liberado) e a biomassa microbiana. Ele reflete a eficiência metabólica da microbiota. Valores altos de QCO₂ 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 despende mais energia apenas para manter suas funções vitais, o que resulta em uma maior liberação de CO₂ por unidade de biomassa. Nesse cenário, há uma perda maior de carbono na forma de CO₂ 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 qCO₂ 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 CO₂ 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:

- I **Ácidos fúlvicos**: solúveis em água em todos os pHs.
- I **Ácidos húmicos**: solúveis em meio alcalino, mas insolúveis em ácido.
- I **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.l.], 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 (qCO₂). 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.