

IMPORTÂNCIA DOS MICROORGANISMOS DO SOLO PARA A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E O EQUILÍBRIO AMBIENTAL

IMPORTANCE OF SOIL MICROORGANISMS FOR AGRICULTURAL
PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL BALANCE

Ciências Agrárias • 22/03/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/774156013](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/774156013)

Antônio Veimar da Silva¹

Carla Michelle da Silva²

Airton Kleber Gomes Matos³

Claudemir Públio Júnior⁴

Leandro da Silva Andrade⁵

Mayla Costa Magalhães⁶

Rogério Luis Souza Carvalho⁷

Antônio Tarcisio da Silva Queiroz⁸

Rayane Feitosa de Carvalho⁹

RESUMO

O solo constitui um dos principais recursos naturais responsáveis pela manutenção da produção agrícola e pelo equilíbrio dos ecossistemas terrestres. Nesse contexto, os microrganismos do solo desempenham papel fundamental em diversos processos biológicos que influenciam diretamente a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a produtividade das culturas agrícolas. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica qualitativa, a importância dos microrganismos do solo para a produtividade agrícola e para a sustentabilidade ambiental. A pesquisa foi desenvolvida com base na análise de produções científicas relacionadas à microbiologia do solo, fertilidade do solo, bioinsumos e práticas agrícolas sustentáveis. Os resultados da literatura demonstram que a atividade microbiana contribui para processos essenciais como decomposição da matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes e formação da estrutura do solo. Além disso, microrganismos promotores de crescimento vegetal e bioinsumos microbianos apresentam potencial significativo para aumentar a eficiência produtiva das culturas e reduzir a dependência de insumos químicos. No entanto, práticas agrícolas inadequadas, como o uso excessivo de agroquímicos e o manejo inadequado do solo, podem comprometer a diversidade microbiana e afetar negativamente os processos ecológicos do solo. Conclui-se que a valorização da microbiota do solo e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis são fundamentais para promover sistemas produtivos mais equilibrados, resilientes e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: Microbiologia do solo. Fertilidade do solo. Sustentabilidade agrícola. Bioinsumos.

ABSTRACT

Soil is one of the main natural resources responsible for maintaining agricultural production and the balance of terrestrial ecosystems. In this context, soil microorganisms play a fundamental role in several biological processes that directly influence soil fertility, nutrient cycling and crop productivity. This study aimed to analyze, through a qualitative bibliographic review, the importance of soil microorganisms for agricultural productivity and environmental sustainability. The research was based on the analysis of scientific publications related to soil microbiology, soil fertility, bioinputs and sustainable agricultural practices. The literature results indicate that microbial activity contributes to essential processes such as organic matter decomposition, biological nitrogen fixation, nutrient solubilization and soil structure formation. In addition, plant growth-promoting microorganisms and microbial bioinputs show significant potential to increase crop productivity and reduce dependence on chemical inputs. However, inadequate agricultural practices, such as excessive use of agrochemicals and improper soil management, can compromise microbial diversity and negatively affect soil ecological processes. It is concluded that valuing soil microbiota and adopting sustainable agricultural practices are essential to promote more balanced, resilient and environmentally responsible production systems.

Keywords: Soil microbiology. Soil fertility. Agricultural sustainability. Bioinputs.

1. INTRODUÇÃO

O solo constitui um dos recursos naturais mais importantes para a manutenção da vida e para o desenvolvimento das atividades agrícolas, desempenhando papel fundamental na produção de

alimentos, fibras e energia. Além de servir como suporte físico para o crescimento das plantas, o solo abriga uma enorme diversidade de organismos vivos que participam ativamente de processos biológicos essenciais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres. Entre esses organismos, os microrganismos do solo desempenham funções fundamentais relacionadas à ciclagem de nutrientes, à decomposição da matéria orgânica e à manutenção da fertilidade natural dos solos (Cotta, 2016; Tomazelli *et al.*, 2024).

A microbiota do solo é composta por uma ampla variedade de organismos microscópicos, incluindo bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas, que interagem entre si e com as plantas em complexas redes ecológicas. Esses microrganismos exercem papel central nos processos biogeoquímicos, contribuindo para a transformação e disponibilização de nutrientes essenciais para o crescimento vegetal. Dessa forma, a atividade microbiana está diretamente relacionada à produtividade agrícola e à sustentabilidade dos sistemas de produção (Silva *et al.*, 2024; Santos; Rodrigues; Vieira, 2025).

A presença e a diversidade de microrganismos no solo influenciam significativamente a qualidade do solo, uma vez que esses organismos participam de processos como a mineralização da matéria orgânica, a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de nutrientes pouco disponíveis para as plantas (Oliveira *et al.*, 2025). Esses mecanismos favorecem a nutrição vegetal e contribuem para o aumento da produtividade das culturas agrícolas, reduzindo, em muitos casos, a dependência de fertilizantes químicos (Pires *et al.*, 2026). Além de favorecerem a fertilidade do solo, os microrganismos também desempenham importante função na manutenção da estrutura física do solo, atuando na formação de agregados e na

estabilização da matéria orgânica. Essa atuação contribui para melhorar características físicas como porosidade, infiltração de água e retenção de umidade, fatores essenciais para o desenvolvimento das plantas e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Batista *et al.*, 2018; Ramalho; Cavichioli, 2023).

Nos últimos anos, o interesse científico pelo estudo da microbiota do solo tem aumentado consideravelmente, especialmente em virtude da busca por sistemas de produção mais sustentáveis. A utilização de bioinsumos microbianos, microrganismos eficientes e outras tecnologias biológicas tem se destacado como alternativa promissora para promover o crescimento vegetal, melhorar a fertilidade do solo e reduzir os impactos ambientais associados ao uso intensivo de insumos químicos na agricultura (Almeida; Santos; Pereira, 2025; Albertti *et al.*, 2022). Nesse contexto, a biodiversidade microbiana do solo tem sido considerada um importante indicador da qualidade ambiental e da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Pereira *et al.*, 2024). Estudos apontam que solos com maior diversidade biológica apresentam maior capacidade de ciclagem de nutrientes, maior estabilidade ecológica e melhor resiliência frente a distúrbios ambientais, o que favorece a produtividade agrícola de forma sustentável (Back *et al.*, 2025).

Por outro lado, práticas agrícolas inadequadas, como o uso excessivo de agroquímicos, o manejo inadequado do solo e o desmatamento, podem comprometer significativamente a diversidade e a atividade microbiana, afetando negativamente os processos biológicos do solo. A utilização indiscriminada de determinados produtos químicos, por exemplo, pode reduzir populações de microrganismos benéficos e prejudicar o equilíbrio ecológico do solo (Duarte, 2026; Silva *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, compreender o papel dos microrganismos do solo torna-se fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, capazes de conciliar produtividade agrícola e conservação ambiental. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a importância dos microrganismos do solo para a produtividade agrícola e para o equilíbrio ambiental, destacando sua contribuição para a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

2. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica. A pesquisa qualitativa busca compreender fenômenos a partir da interpretação de diferentes perspectivas teóricas e da análise aprofundada de informações presentes na literatura científica, possibilitando a construção de reflexões críticas sobre determinado tema (MINAYO, 2014). Nesse contexto, essa abordagem mostrou-se adequada para investigar o papel dos microrganismos do solo na produtividade agrícola e na sustentabilidade ambiental, considerando a diversidade de estudos disponíveis na literatura científica.

A revisão bibliográfica consiste em um procedimento metodológico fundamentado na análise sistemática de produções científicas previamente publicadas, permitindo identificar conceitos, resultados de pesquisas e avanços teóricos sobre um determinado objeto de estudo. Segundo Gil (2019), esse tipo de pesquisa possibilita reunir conhecimentos já consolidados na literatura, contribuindo para a compreensão mais ampla de fenômenos científicos e para o

aprofundamento das discussões teóricas em determinada área do conhecimento.

Do ponto de vista metodológico, o estudo também se aproxima das características das revisões narrativas de literatura, que têm como objetivo reunir e discutir diferentes produções científicas sobre um determinado tema, buscando compreender tendências, lacunas e contribuições da literatura existente. Para Marconi e Lakatos (2021), a revisão de literatura constitui uma etapa fundamental das pesquisas científicas, pois permite ao pesquisador conhecer o estado da arte do tema investigado, identificar abordagens teóricas relevantes e fundamentar as análises realizadas no estudo.

A coleta das informações foi realizada por meio de levantamento de artigos científicos, livros e publicações acadêmicas relacionadas à microbiologia do solo, fertilidade do solo, sustentabilidade agrícola e bioinsumos microbianos. Para a seleção das referências foram consultadas bases de dados acadêmicas amplamente utilizadas na área de Ciências Agrárias, como Google Scholar, SciELO e periódicos científicos nacionais. De acordo com Severino (2017), o levantamento bibliográfico constitui uma etapa essencial na construção do conhecimento científico, pois permite ao pesquisador reunir diferentes perspectivas teóricas sobre o fenômeno investigado.

A seleção das referências utilizadas no presente estudo priorizou trabalhos científicos que abordam a importância dos microrganismos do solo para a fertilidade, produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental. Dessa forma, foram incluídas publicações que tratam da microbiologia do solo, da biodiversidade microbiana, dos bioinsumos agrícolas e da relação entre atividade microbiana e qualidade do solo. Também foram considerados

estudos que discutem práticas agrícolas sustentáveis e estratégias de manejo voltadas para a conservação da vida no solo.

Como critérios de inclusão, foram selecionadas publicações científicas que apresentassem relação direta com o tema proposto, com destaque para estudos que discutem a atuação de microrganismos nos processos de ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, biofertilização e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Além disso, foram priorizados trabalhos publicados em periódicos científicos, capítulos de livros e obras acadêmicas que contribuem para a compreensão da dinâmica solo-planta-microrganismo. Por outro lado, como critérios de exclusão, foram desconsiderados estudos que não apresentavam relação direta com a temática investigada, bem como publicações com abordagem exclusivamente técnica ou que não discutiam a atuação dos microrganismos no contexto da produtividade agrícola e do equilíbrio ambiental. Também foram excluídos trabalhos com baixa aderência ao tema central do estudo ou que não apresentavam fundamentação científica consistente.

A análise das referências selecionadas foi realizada por meio de leitura exploratória, seletiva e analítica das publicações, buscando identificar os principais conceitos, contribuições teóricas e resultados apresentados pelos autores. Conforme destaca Gil (2019), essa etapa permite organizar as informações coletadas e construir uma interpretação crítica da literatura, contribuindo para o desenvolvimento das discussões e para a consolidação do referencial teórico do estudo. Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou reunir diferentes contribuições científicas sobre a importância dos microrganismos do solo para a produtividade

agrícola e para a sustentabilidade ambiental, oferecendo suporte teórico para a análise e discussão do tema abordado neste artigo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Microbiologia do Solo e Biodiversidade Microbiana

O solo é um ambiente altamente complexo que abriga uma grande diversidade de organismos vivos responsáveis por diferentes processos ecológicos essenciais. Entre esses organismos, os microrganismos ocupam posição central na manutenção da funcionalidade dos ecossistemas terrestres, atuando na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na manutenção da fertilidade do solo. A presença dessa diversidade biológica é um dos fatores que garantem o equilíbrio ecológico do solo e o funcionamento adequado dos sistemas agrícolas (Cotta, 2016).

A microbiota do solo é composta principalmente por bactérias, fungos, actinomicetos, algas e protozoários, organismos que vivem em interação constante com as raízes das plantas e com outros organismos presentes no ambiente edáfico. Essas interações formam redes biológicas complexas que influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal e a produtividade agrícola. A diversidade microbiana presente no solo pode variar de acordo com fatores como tipo de solo, manejo agrícola, clima e disponibilidade de matéria orgânica (Tomazelli *et al.*, 2024).

A biodiversidade microbiana desempenha papel fundamental na manutenção da qualidade do solo, pois esses organismos participam de processos que contribuem para a transformação de nutrientes e para o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos. A atividade

metabólica desses microrganismos permite a decomposição de resíduos orgânicos e a liberação de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, promovendo condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas agrícolas (Oliveira *et al.*, 2014). Além disso, a microbiota do solo atua na formação e estabilização da estrutura do solo por meio da produção de substâncias orgânicas que auxiliam na agregação das partículas do solo. Essa agregação contribui para melhorar propriedades físicas importantes, como porosidade, infiltração de água e retenção de umidade, fatores que influenciam diretamente a produtividade das culturas (Batista *et al.*, 2018).

Outro aspecto relevante da diversidade microbiana está relacionado à sua capacidade de atuar no controle natural de patógenos presentes no solo. Alguns microrganismos possuem propriedades antagonistas que permitem inibir o crescimento de organismos causadores de doenças em plantas, contribuindo para a saúde das culturas e para a redução da necessidade de defensivos químicos (Silva *et al.*, 2024).

A diversidade de microrganismos também é considerada um importante indicador da qualidade do solo, sendo frequentemente utilizada em estudos científicos para avaliar o estado de conservação e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Solos que apresentam maior diversidade microbiana tendem a apresentar maior capacidade de regeneração e maior estabilidade ecológica (Pereira *et al.*, 2024). Nesse sentido, os organismos edáficos são reconhecidos como importantes bioindicadores da qualidade ambiental do solo, pois refletem diretamente as condições de manejo e conservação do ambiente agrícola. A presença e a atividade desses organismos

podem indicar se o solo está sendo manejado de forma sustentável ou se está sofrendo processos de degradação (Back *et al.*, 2025).

Diante do exposto, compreender a diversidade e o funcionamento da microbiota do solo é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis. O conhecimento sobre esses organismos permite a adoção de estratégias de manejo que favoreçam a atividade biológica do solo e contribuam para o aumento da produtividade agrícola sem comprometer a integridade ambiental dos ecossistemas (Silva *et al.*, 2021).

3.2. Microrganismos e Fertilidade do Solo

A fertilidade do solo é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das plantas e para a produtividade dos sistemas agrícolas. Esse conceito envolve a capacidade do solo de fornecer nutrientes essenciais, água e condições físicas adequadas para o crescimento vegetal. Nesse contexto, os microrganismos desempenham papel fundamental, pois participam diretamente de diversos processos biológicos responsáveis pela transformação e disponibilização de nutrientes no ambiente edáfico. A atividade microbiana contribui para a manutenção da qualidade do solo e para o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas (Cotta, 2016; Tomazelli *et al.*, 2024).

A presença de uma microbiota diversificada no solo favorece a realização de processos bioquímicos essenciais, como a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de nutrientes (Silva *et al.*, 2024). Durante a decomposição, os microrganismos transformam resíduos vegetais e animais em compostos mais simples, liberando nutrientes importantes como nitrogênio, fósforo,

enxofre e potássio, que podem ser absorvidos pelas plantas. Esse processo é fundamental para a manutenção da fertilidade natural do solo e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Santos; Rodrigues; Vieira, 2025).

Outro mecanismo importante relacionado à fertilidade do solo é a fixação biológica de nitrogênio, realizada principalmente por bactérias presentes no solo e associadas às raízes das plantas. Essas bactérias são capazes de transformar o nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados assimiláveis pelas plantas, contribuindo significativamente para o suprimento desse nutriente essencial para o crescimento vegetal. Esse processo reduz a necessidade do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos e favorece práticas agrícolas mais sustentáveis (Pires *et al.*, 2026; Oliveira *et al.*, 2014). Além da fixação de nitrogênio, alguns microrganismos possuem a capacidade de solubilizar nutrientes que se encontram em formas pouco disponíveis no solo, especialmente o fósforo. Bactérias e fungos solubilizadores liberam substâncias orgânicas que promovem a dissolução desses nutrientes, tornando-os acessíveis às plantas. Essa atuação contribui para aumentar a eficiência do uso dos nutrientes e para melhorar a fertilidade do solo em sistemas agrícolas (Oliveira *et al.*, 2025; Silva *et al.*, 2021).

A matéria orgânica exerce papel fundamental na atividade microbiana do solo, pois funciona como fonte de energia e nutrientes para os microrganismos. A adição de resíduos orgânicos, compostos naturais e biofertilizantes pode estimular a atividade biológica do solo, promovendo a multiplicação de microrganismos benéficos e contribuindo para o aumento da fertilidade (Oliveira; Oliveira, 2025). Além disso, a matéria orgânica melhora as propriedades químicas e físicas do solo, favorecendo o

desenvolvimento das culturas agrícolas (Batista *et al.*, 2018). Os microrganismos também contribuem para a formação e estabilização da estrutura do solo por meio da produção de substâncias que favorecem a agregação das partículas do solo. A formação desses agregados melhora características físicas importantes, como porosidade, infiltração de água e retenção de umidade. Essas melhorias estruturais favorecem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e aumentam a eficiência na absorção de nutrientes (Ramalho; Cavichioli, 2023).

Outro aspecto relevante da atividade microbiana está relacionado ao controle biológico de patógenos presentes no solo. Alguns microrganismos possuem propriedades antagonistas que permitem inibir o crescimento de organismos causadores de doenças em plantas. Esse mecanismo contribui para a saúde das culturas agrícolas e reduz a necessidade de aplicação de defensivos químicos, promovendo sistemas de produção mais sustentáveis (Silva *et al.*, 2024; Pires *et al.*, 2026).

A diversidade microbiana também é considerada um importante indicador da qualidade do solo e da eficiência do manejo agrícola (Pereira *et al.*, 2024). Solos que apresentam maior diversidade biológica tendem a apresentar maior capacidade de ciclagem de nutrientes, maior estabilidade ecológica e maior resistência a processos de degradação. Dessa forma, a biodiversidade microbiana contribui para a manutenção da fertilidade e para o equilíbrio dos agroecossistemas (Back *et al.*, 2025). Por outro lado, práticas agrícolas inadequadas podem comprometer a atividade microbiana do solo e reduzir sua fertilidade. O uso excessivo de agroquímicos, o manejo inadequado do solo e a degradação ambiental podem provocar alterações significativas na microbiota do solo, afetando

negativamente os processos biológicos responsáveis pela ciclagem de nutrientes e pela manutenção da fertilidade (Duarte, 2026; Paza; Rosa; Baldicera, 2024).

Diante disso, torna-se fundamental adotar práticas de manejo que favoreçam a atividade biológica do solo, como a utilização de bioinsumos, o manejo conservacionista e a incorporação de matéria orgânica. Essas estratégias contribuem para fortalecer a microbiota do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes e promover sistemas agrícolas mais produtivos e sustentáveis. Assim, os microrganismos desempenham papel essencial na manutenção da fertilidade do solo e na sustentabilidade da produção agrícola (Karpinski *et al.*, 2024; Mairink *et al.*, 2025).

3.3. Ciclagem de Nutrientes e Produtividade Agrícola

A ciclagem de nutrientes é um dos processos ecológicos mais importantes para a manutenção da fertilidade do solo e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Esse processo envolve a transformação e a reutilização de nutrientes essenciais no ambiente edáfico, permitindo que elementos químicos fundamentais para o crescimento das plantas estejam continuamente disponíveis no solo (Tomazelli *et al.*, 2024). Nesse contexto, os microrganismos desempenham papel central, pois são responsáveis por grande parte das transformações bioquímicas que ocorrem no solo, influenciando diretamente a produtividade agrícola (Silva *et al.*, 2024).

Os microrganismos do solo participam ativamente da decomposição da matéria orgânica, processo fundamental para a liberação de nutrientes essenciais para as plantas. Durante a

decomposição de resíduos vegetais e animais, bactérias e fungos atuam na quebra de compostos orgânicos complexos, transformando-os em substâncias mais simples que podem ser assimiladas pelas plantas. Esse mecanismo contribui para a reposição natural de nutrientes no solo e reduz a necessidade de fertilizantes químicos nos sistemas de produção agrícola (Cotta, 2016; Oliveira *et al.*, 2014).

Entre os nutrientes que participam da ciclagem no solo, o nitrogênio destaca-se como um dos mais importantes para o desenvolvimento vegetal. A fixação biológica de nitrogênio realizada por microrganismos, especialmente bactérias associadas às raízes das plantas, permite que o nitrogênio presente na atmosfera seja convertido em formas assimiláveis pelas culturas agrícolas (Santos; Rodrigues; Vieira, 2025). Esse processo é essencial para a manutenção da produtividade agrícola e para a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Pires *et al.*, 2026).

Outro nutriente fundamental no processo de ciclagem é o fósforo, que muitas vezes se encontra em formas pouco disponíveis no solo. Alguns microrganismos possuem a capacidade de solubilizar compostos fosfatados por meio da liberação de ácidos orgânicos e outras substâncias bioquímicas. Essa ação microbiana aumenta a disponibilidade de fósforo para as plantas, favorecendo o crescimento vegetal e contribuindo para o aumento da produtividade agrícola (Oliveira *et al.*, 2025; Silva *et al.*, 2021). A ciclagem de nutrientes também envolve a transformação de outros elementos importantes, como carbono e enxofre, que participam de diferentes processos metabólicos no solo. Os microrganismos atuam na degradação de compostos orgânicos contendo esses elementos,

liberando-os gradualmente no ambiente edáfico e permitindo sua reutilização pelas plantas. Esse ciclo contínuo de transformação e reutilização é essencial para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas agrícolas (Batista *et al.*, 2018).

A presença de uma microbiota ativa e diversificada favorece a eficiência da ciclagem de nutrientes no solo. Solos que apresentam elevada atividade biológica tendem a apresentar maior capacidade de reciclagem de nutrientes, o que contribui para a manutenção da fertilidade e para o aumento da produtividade das culturas agrícolas. Dessa forma, a biodiversidade microbiana é considerada um dos principais fatores responsáveis pela sustentabilidade dos sistemas de produção (Pereira *et al.*, 2024; Back *et al.*, 2025). Além disso, a utilização de bioinsumos microbianos tem se destacado como uma estratégia promissora para estimular a ciclagem de nutrientes e melhorar a produtividade agrícola (Albertti *et al.*, 2022). Esses bioinsumos contêm microrganismos benéficos que atuam na mobilização de nutrientes, na promoção do crescimento vegetal e na melhoria das condições biológicas do solo. O uso dessas tecnologias contribui para reduzir impactos ambientais e promover sistemas agrícolas mais sustentáveis (Almeida; Santos; Pereira, 2025).

A adoção de práticas de manejo sustentável também influencia diretamente os processos de ciclagem de nutrientes no solo. Técnicas como rotação de culturas, adubação orgânica, cobertura vegetal e redução do revolvimento do solo favorecem o desenvolvimento da microbiota e contribuem para a manutenção da atividade biológica do solo (Paza; Rosa; Baldicera, 2024). Essas práticas fortalecem os processos naturais de reciclagem de nutrientes e favorecem a produtividade agrícola a longo prazo (Karpinski *et al.*, 2024). Por outro lado, práticas agrícolas inadequadas

podem comprometer os processos de ciclagem de nutrientes e reduzir a eficiência produtiva do solo. O uso excessivo de agroquímicos e o manejo inadequado podem alterar significativamente a composição da microbiota do solo, prejudicando os processos biológicos responsáveis pela transformação de nutrientes e afetando negativamente a produtividade das culturas (Duarte, 2026).

Dessa forma, compreender o papel dos microrganismos na ciclagem de nutrientes é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo agrícola mais eficientes e sustentáveis. A valorização dos processos biológicos do solo permite aumentar a produtividade das culturas agrícolas ao mesmo tempo em que contribui para a conservação dos recursos naturais e para a manutenção do equilíbrio ambiental dos agroecossistemas (Mairink *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2025).

3.4. Bioinsumos e Microrganismos Promotores de Crescimento Vegetal

O avanço das pesquisas em microbiologia do solo tem contribuído para o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao uso de microrganismos benéficos na agricultura, destacando-se os bioinsumos microbianos e os microrganismos promotores de crescimento vegetal. Esses organismos são capazes de atuar diretamente no desenvolvimento das plantas, promovendo melhorias na absorção de nutrientes, no crescimento radicular e na resistência das culturas a diferentes condições ambientais. Nesse contexto, o uso de microrganismos benéficos tem sido considerado uma estratégia importante para aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável (Pires *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024).

Os microrganismos promotores de crescimento vegetal, também conhecidos como PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), desempenham diversas funções no solo e na rizosfera. Esses organismos atuam por meio de diferentes mecanismos, como a produção de fitormônios, a solubilização de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio, contribuindo para o desenvolvimento das plantas e para o aumento da produtividade das culturas agrícolas. Além disso, esses microrganismos podem melhorar a eficiência da absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (Santos; Rodrigues; Vieira, 2025).

Entre os principais benefícios associados ao uso desses microrganismos destaca-se a capacidade de estimular o crescimento do sistema radicular das plantas. O desenvolvimento mais eficiente das raízes permite maior exploração do solo e maior absorção de água e nutrientes, fatores que contribuem diretamente para o aumento da produtividade agrícola. Dessa forma, os microrganismos promotores de crescimento vegetal desempenham papel relevante na melhoria do desempenho das culturas (Oliveira *et al.*, 2025). Outro aspecto importante relacionado ao uso de bioinsumos microbianos está na sua capacidade de promover a solubilização de nutrientes presentes no solo, especialmente fósforo e potássio (Oliveira *et al.*, 2014). Muitos desses nutrientes encontram-se em formas químicas pouco disponíveis para as plantas, sendo necessária a ação de microrganismos capazes de transformá-los em formas assimiláveis. Essa ação biológica aumenta a eficiência do uso dos nutrientes e contribui para a melhoria da fertilidade do solo (Silva *et al.*, 2021).

Os bioinsumos microbianos também desempenham papel importante no controle biológico de patógenos presentes no solo.

Alguns microrganismos possuem propriedades antagonistas que permitem inibir o crescimento de organismos causadores de doenças em plantas. Essa capacidade contribui para reduzir a incidência de doenças nas culturas agrícolas e diminuir a necessidade de aplicação de defensivos químicos, promovendo sistemas de produção mais sustentáveis (Pires *et al.*, 2026). A utilização de microrganismos eficientes tem sido considerada uma alternativa promissora para melhorar a qualidade biológica do solo e aumentar a eficiência produtiva dos sistemas agrícolas. Esses microrganismos podem ser aplicados no solo ou diretamente nas plantas, estimulando processos biológicos que favorecem a fertilidade do solo e o crescimento vegetal. Estudos indicam que o uso de microrganismos eficientes pode contribuir significativamente para a melhoria da produtividade agrícola (Almeida; Santos; Pereira, 2025).

Produtos biológicos desenvolvidos a partir de microrganismos benéficos também têm sido utilizados como ferramentas tecnológicas na agricultura moderna. Esses produtos são formulados com diferentes espécies microbianas capazes de atuar na rizosfera, promovendo benefícios para as plantas e contribuindo para a melhoria das condições biológicas do solo. A aplicação desses bioinsumos representa uma alternativa sustentável para o manejo agrícola (Albertti *et al.*, 2022). Além de favorecer o crescimento das plantas, os microrganismos promotores de crescimento vegetal também contribuem para aumentar a resiliência das culturas frente a estresses ambientais, como deficiência hídrica e limitações nutricionais. Esses microrganismos podem estimular mecanismos fisiológicos nas plantas que favorecem sua adaptação a condições adversas, promovendo maior estabilidade na produção agrícola (Praxedes; Guimarães, 2025).

Outro aspecto relevante está relacionado ao papel dos bioinsumos na redução do impacto ambiental da agricultura. O uso de microrganismos benéficos pode diminuir a dependência de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, contribuindo para sistemas de produção mais equilibrados e sustentáveis. Dessa forma, os bioinsumos microbianos têm sido apontados como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (Karpinski *et al.*, 2024; Silva; Baldicera, 2024). Diante disso, o uso de bioinsumos e de microrganismos promotores de crescimento vegetal representa uma estratégia promissora para o fortalecimento da agricultura sustentável. A incorporação dessas tecnologias nos sistemas de produção agrícola contribui para melhorar a fertilidade do solo, aumentar a produtividade das culturas e promover a conservação dos recursos naturais, fortalecendo a sustentabilidade dos agroecossistemas (Mairink *et al.*, 2025).

3.5. Microrganismos do Solo e Sustentabilidade Ambiental

A sustentabilidade ambiental na agricultura tem se tornado um tema central nas discussões científicas e nas práticas de manejo agrícola contemporâneas. Nesse contexto, os microrganismos do solo desempenham papel fundamental na manutenção dos processos ecológicos que sustentam a produtividade agrícola e o equilíbrio ambiental. Esses organismos contribuem para a conservação dos recursos naturais, promovendo a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a manutenção da fertilidade do solo (Tomazelli *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2024).

A presença de uma microbiota ativa e diversificada no solo favorece o funcionamento adequado dos agroecossistemas, pois esses

microrganismos participam de diversos processos bioquímicos essenciais para o equilíbrio ambiental. Entre esses processos destacam-se a decomposição de resíduos orgânicos, a mineralização de nutrientes e a transformação de compostos químicos presentes no solo. Essas atividades contribuem para a manutenção da qualidade ambiental dos solos agrícolas (Cotta, 2016). A biodiversidade microbiana do solo também desempenha papel importante na conservação da estrutura física do solo. A atividade desses organismos favorece a formação de agregados estáveis, que contribuem para melhorar a porosidade, a infiltração de água e a retenção de umidade no solo. Essas características são fundamentais para evitar processos de degradação, como erosão e compactação, que podem comprometer a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Batista *et al.*, 2018).

Outro aspecto relevante relacionado aos microrganismos do solo está na sua capacidade de atuar na degradação de compostos orgânicos e na transformação de substâncias potencialmente poluentes. Alguns microrganismos possuem a capacidade de metabolizar compostos químicos presentes no ambiente, contribuindo para a redução de impactos ambientais associados às atividades agrícolas e industriais (Silva *et al.*, 2021). Além disso, os microrganismos exercem papel importante na manutenção da qualidade biológica do solo, sendo frequentemente utilizados como indicadores da saúde do ambiente edáfico. A presença e a atividade desses organismos refletem diretamente as condições ambientais e o tipo de manejo adotado no sistema agrícola, permitindo avaliar o nível de sustentabilidade das práticas utilizadas (Pereira *et al.*, 2024).

Os organismos edáficos também são considerados bioindicadores da qualidade ambiental do solo, pois respondem rapidamente às

alterações provocadas por práticas agrícolas inadequadas ou por processos de degradação ambiental. Dessa forma, a análise da diversidade e da atividade desses organismos pode fornecer informações importantes sobre o estado de conservação do solo e sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas (Back *et al.*, 2025).

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis contribui significativamente para a preservação da microbiota do solo e para a manutenção do equilíbrio ambiental. Técnicas como rotação de culturas, adubação orgânica, plantio direto e uso de bioinsumos favorecem o desenvolvimento da atividade microbiana e contribuem para a melhoria da qualidade do solo (Paza; Rosa; Baldicera, 2024). Nesse sentido, a agricultura sustentável busca conciliar produtividade agrícola com conservação ambiental, promovendo o uso racional dos recursos naturais e valorizando os processos biológicos presentes no solo. A atividade microbiana desempenha papel essencial nesse modelo de produção, pois contribui para a manutenção da fertilidade do solo e para o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas (Karpinski *et al.*, 2024).

Outro modelo de produção que tem ganhado destaque nas discussões sobre sustentabilidade é a agricultura regenerativa, que enfatiza práticas voltadas para a recuperação da qualidade biológica dos solos e para o fortalecimento dos processos naturais dos ecossistemas. Nesse modelo, os microrganismos do solo são considerados elementos-chave para a regeneração da fertilidade e para a manutenção da biodiversidade edáfica (Mairink *et al.*, 2025). A utilização de bioinsumos microbianos também representa uma importante estratégia para promover a sustentabilidade ambiental na agricultura. Esses insumos biológicos contribuem para reduzir o uso de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, promovendo

sistemas produtivos mais equilibrados e ambientalmente responsáveis (Pires *et al.*, 2026).

Por outro lado, práticas agrícolas inadequadas podem comprometer significativamente a diversidade e a atividade dos microrganismos do solo. O uso excessivo de agroquímicos, por exemplo, pode provocar impactos negativos na microbiota do solo, reduzindo a atividade biológica e comprometendo os processos ecológicos responsáveis pela manutenção da fertilidade e da qualidade ambiental (Duarte, 2026). Além disso, a degradação do solo causada por práticas inadequadas de manejo pode resultar na perda de biodiversidade microbiana, afetando diretamente o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos e a capacidade do solo de sustentar a produção agrícola. Dessa forma, a conservação da microbiota do solo torna-se essencial para garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Oliveira *et al.*, 2025).

Outro aspecto importante relacionado à sustentabilidade ambiental está na necessidade de promover a educação em solos e a conscientização sobre a importância da vida microbiana no ambiente edáfico. A compreensão desses processos biológicos pode contribuir para a adoção de práticas agrícolas mais responsáveis e para a preservação dos recursos naturais (Falcão; Sobrinho, 2024). Diante disso, os microrganismos do solo desempenham papel essencial na promoção da sustentabilidade ambiental na agricultura. A valorização da biodiversidade microbiana e a adoção de práticas de manejo que favoreçam a atividade biológica do solo são fundamentais para garantir sistemas agrícolas mais produtivos, resilientes e ambientalmente equilibrados. Dessa forma, o conhecimento sobre a microbiota do solo torna-se um elemento estratégico para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável

e para a conservação dos ecossistemas terrestres (Nascimento; Marques, 2025).

4. DISCUSSÃO

A literatura analisada demonstra consenso entre diversos autores sobre a importância dos microrganismos do solo para o funcionamento dos agroecossistemas e para a manutenção da fertilidade dos solos agrícolas. Estudos como os de Cotta (2016) e Tomazelli *et al.* (2024) destacam que o solo representa um ambiente biologicamente ativo, no qual bactérias, fungos e outros organismos microscópicos participam de processos essenciais como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e manutenção da estrutura do solo. Nessa perspectiva, a atividade microbiana é considerada um elemento central para a sustentabilidade da produção agrícola.

Autores como Silva *et al.* (2024) e Santos, Rodrigues e Vieira (2025) reforçam essa abordagem ao enfatizar que os microrganismos do solo contribuem diretamente para a fertilidade e para o aumento da produtividade agrícola. Segundo esses autores, a ação microbiana permite a disponibilização de nutrientes essenciais às plantas, além de favorecer o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes. Dessa forma, os microrganismos são considerados aliados importantes na promoção de sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Outro ponto amplamente discutido na literatura refere-se ao papel dos microrganismos na ciclagem de nutrientes. Pires *et al.* (2026) e Oliveira *et al.* (2014) argumentam que processos como a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de fósforo desempenham

papel fundamental na nutrição vegetal e na produtividade agrícola. Esses processos biológicos permitem que nutrientes essenciais sejam disponibilizados de forma natural no solo, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos e para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Além disso, estudos como os de Almeida, Santos e Pereira (2025) e Albertti *et al.* (2022) destacam o potencial dos bioinsumos microbianos como ferramentas tecnológicas para a agricultura moderna. Esses autores defendem que a utilização de microrganismos eficientes e produtos biológicos pode contribuir significativamente para melhorar a fertilidade do solo, aumentar a produtividade das culturas e reduzir os impactos ambientais associados ao uso excessivo de insumos químicos.

Por outro lado, alguns estudos apontam limitações e desafios relacionados ao uso de microrganismos na agricultura. Duarte (2026), por exemplo, destaca que determinados produtos químicos utilizados no manejo agrícola podem afetar negativamente microrganismos benéficos do solo, comprometendo a atividade biológica e a estabilidade dos agroecossistemas. Esse autor alerta para a necessidade de avaliar cuidadosamente os impactos de insumos agrícolas sobre a microbiota do solo. Além disso, Silva *et al.* (2021) ressaltam que a atividade microbiana pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como tipo de solo, clima e práticas de manejo agrícola. Dessa forma, a eficácia dos microrganismos no aumento da fertilidade do solo e da produtividade agrícola pode variar significativamente entre diferentes sistemas de produção, o que evidencia a necessidade de estudos mais aprofundados sobre essas interações.

Outro aspecto discutido na literatura refere-se à importância da biodiversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. Pereira *et al.* (2024) e Back *et al.* (2025) destacam que a diversidade de organismos edáficos pode refletir diretamente as condições ambientais do solo e o tipo de manejo adotado nas áreas agrícolas. Esses autores defendem que a análise de indicadores biológicos pode contribuir para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção. No entanto, apesar do reconhecimento da importância da microbiota do solo, ainda existem lacunas significativas no conhecimento científico sobre a dinâmica dessas comunidades microbianas em diferentes contextos agrícolas. Oliveira *et al.* (2025) apontam que muitos processos microbianos que ocorrem no solo ainda não são totalmente compreendidos, especialmente no que se refere às interações entre microrganismos, plantas e fatores ambientais.

Outro ponto destacado por Karpinski *et al.* (2024) e Mairink *et al.* (2025) refere-se à necessidade de ampliar as pesquisas sobre sistemas agrícolas sustentáveis, especialmente aqueles que valorizam os processos biológicos do solo, como a agricultura regenerativa. Esses autores argumentam que práticas agrícolas baseadas na conservação da microbiota do solo podem representar alternativas promissoras para enfrentar os desafios relacionados à degradação dos solos e às mudanças climáticas. Além disso, Paza, Rosa e Baldicera (2024) destacam que muitas práticas agrícolas ainda são baseadas em modelos produtivos intensivos que não consideram adequadamente a importância da biodiversidade do solo. Nesse sentido, os autores defendem a necessidade de promover mudanças nos modelos de manejo agrícola, incorporando práticas que favoreçam a conservação da vida no solo e o uso racional dos recursos naturais.

Outro aspecto relevante apontado na literatura refere-se à necessidade de integrar conhecimentos científicos e práticas agrícolas sustentáveis. Falcão e Sobrinho (2024) e Nascimento e Marques (2025) destacam que a educação em solos e a disseminação do conhecimento sobre a importância da microbiota do solo são fundamentais para promover mudanças nas práticas agrícolas e fortalecer a sustentabilidade ambiental.

Diante dessas discussões, observa-se que, embora exista amplo consenso sobre a importância dos microrganismos do solo para a fertilidade e produtividade agrícola, ainda há desafios relacionados à compreensão da complexidade dessas comunidades biológicas e à aplicação prática desse conhecimento nos sistemas produtivos. Assim, torna-se evidente a necessidade de ampliar as pesquisas científicas sobre a microbiota do solo, especialmente no que se refere às interações ecológicas, à eficiência de bioinsumos e ao desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável.

Nesse sentido, as lacunas identificadas na literatura indicam a importância de estudos que integrem aspectos microbiológicos, agronômicos e ambientais, visando aprofundar a compreensão sobre o papel dos microrganismos na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Investigações futuras poderão contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e para a consolidação de modelos de produção agrícola baseados na valorização da vida no solo e na conservação dos recursos naturais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura evidencia que os microrganismos do solo desempenham papel central na manutenção da fertilidade, na

ciclagem de nutrientes e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A diversidade microbiana presente no ambiente edáfico está diretamente relacionada ao funcionamento dos processos biogeoquímicos que garantem a disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, a microbiota do solo constitui um dos pilares fundamentais para a produtividade agrícola e para o equilíbrio dos agroecossistemas.

Os estudos revisados indicam que a atividade microbiana contribui significativamente para processos como decomposição da matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de nutrientes, favorecendo a nutrição vegetal e a eficiência dos sistemas produtivos. Além disso, os microrganismos também participam da formação da estrutura do solo, da manutenção da biodiversidade edáfica e do controle biológico de patógenos, aspectos que reforçam sua importância para a qualidade e conservação dos solos agrícolas.

Outro ponto relevante identificado na literatura refere-se ao potencial dos bioinsumos microbianos e dos microrganismos promotores de crescimento vegetal como ferramentas estratégicas para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável. A utilização dessas tecnologias pode contribuir para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, promovendo sistemas produtivos mais equilibrados e ambientalmente responsáveis. Entretanto, também foram identificados desafios relacionados ao manejo agrícola e aos impactos de práticas intensivas sobre a microbiota do solo. O uso excessivo de agroquímicos, o manejo inadequado do solo e a degradação ambiental podem comprometer significativamente a diversidade microbiana e os processos biológicos responsáveis pela

manutenção da fertilidade do solo. Esses fatores evidenciam a necessidade de adotar práticas agrícolas que favoreçam a conservação da vida no solo e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A discussão apresentada neste estudo também evidenciou lacunas importantes na literatura científica, especialmente no que se refere à compreensão das interações entre microrganismos, plantas e fatores ambientais em diferentes sistemas agrícolas. Apesar dos avanços no conhecimento sobre microbiologia do solo, ainda são necessárias pesquisas que aprofundem o entendimento sobre a dinâmica das comunidades microbianas e sua aplicação prática no manejo agrícola. Dessa forma, torna-se fundamental ampliar os estudos que integrem aspectos microbiológicos, agronômicos e ambientais, buscando desenvolver estratégias de manejo que valorizem os processos biológicos do solo e fortaleçam a sustentabilidade da produção agrícola. A valorização da biodiversidade microbiana e o incentivo ao uso de tecnologias biológicas representam caminhos promissores para enfrentar desafios relacionados à degradação dos solos e à segurança alimentar.

Por fim, conclui-se que os microrganismos do solo constituem elementos essenciais para a manutenção da produtividade agrícola e para a conservação dos recursos naturais. A compreensão e valorização da microbiota do solo podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes, produtivos e ambientalmente sustentáveis, reforçando a importância da vida no solo como base para a agricultura do futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTTI, B. F.; MURATA, M.; MARQUES, J. B. S.; SUGUIMOTO, H. H. Estudo do Produto Biológico BetaSoil® para Agricultura. **UNICIÊNCIAS**, v. 26, n. 2, p. 124-129, 2022.

ALMEIDA, M.; SANTOS, E.; PEREIRA, M. Produção e caracterização de microrganismos eficientes: uma alternativa sustentável. **Cadernos de Agroecologia**, v. 20, n. 1, 2025.

BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTAGO, F. D. A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. D.; CARNEIRO, M. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. **Tubarão: Copiart**, v. 1, p. 71-90, 2018.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. **Microbiologia do solo**, v. 2, p. 23-35, 2016.

DUARTE, E. dos R. Impacto do mancozeb em microrganismos benéficos do solo. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar- ISSN 2675-6218**, v. 7, n. 2, p. e727187-e727187, 2026.

FALCÃO, C. L. C.; SOBRINHO, J. F. Educação em solos: abordagens teóricas e metodológicas. **Acta Geográfica**, v. 18, n. 49, p. 97-116, 2024.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

KARPINSKI, F. W.; DEILANI, D.; BALDICERA, A.; JUNG, D. C. A agricultura sustentável e seu papel na preservação do meio ambiente: a busca por manejos conservacionistas e eficientes para um meio mais sustentável. **Revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do Crea-SC**, v. 2, n. 2, p. 3-16, 2024.

MAIRINK, T. C. P.; FONSECA, F. L.; RIGHI, E.; BULHÕES, F. M.; ANTUNES, L. E. G.; AGUIAR JÚNIOR, L. V. A importância da agricultura regenerativa no Brasil. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 7, p. e10605-e10605, 2025.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

NASCIMENTO, M. S.; MARQUES, J. D. de O. Agenda 2030: a importância da Educação em Solos para alcançar as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 42, n. 1, p. 341-363, 2025.

OLIVEIRA, A. L. M.; COSTA, K. R.; FERREIRA, D. C.; MILANI, K. M. L.; SANTOS, O. J. A. P.; SILVA, M. B.; ZULUAGA, M. Y. A. Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 56-77, 2014.

OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, R. A. P. O Papel Da Matéria Orgânica Na Produção Do Alface:: Enfoque No Uso Do Bokashi. **Revista Novos Desafios**, v. 5, n. 2, p. 95-106, 2025.

OLIVEIRA, J. G. A.; REIS, H. S. D.; ARAÚJO, J. F.; BOMFIM, L. S. V.; BARBOSA, A. C. F. Biodiversidade e a revitalização dos solos-da ação microbiológica à adição de nutrientes para remineralização. **Ciência Florestal**, v. 35, p. e70819, 2025.

PAZA, J. de O.; ROSA, K. C.; BALDICERA, A. K. A importância de buscar por práticas mais sustentáveis na agricultura: o uso consciente do solo e a utilização de técnicas corretas de manejo. **Revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do Crea-SC**, v. 2, n. 2, p. 56-66, 2024.

PEREIRA, A. E.; SILVA JÚNIOR, O. L.; SCHMIDT FILHO, E.; GASPAROTTO, F.; PACCOLA, E. A. S. Uma revisão sistemática dos indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade do solo agrícola. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 5, p. e4695-e4695, 2024.

PIRES, B. T. F.; BUENO, V. A. O.; SILVA, N. B. D.; MIRANDA, F. T. N.; MORAES, A. R.; LEÃO, W. M.; FRANÇA, W. O. Bioinsumos microbianos na dinâmica solo-planta-microrganismo: implicações na fertilidade, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica. **Aurum Revista Multidisciplinar**, v. 2, n. 2, p. 1-14, 2026.

PRAXEDES, N. S.; GUIMARÃES, C. C. A influência da microbiota do solo na produtividade e sustentabilidade de culturas energéticas. **Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 01, p. e17119-e17119, 2025.

RAMALHO, N. T. C.; CAVICHIOLI, F. A. Técnicas de preparo de solo e sua importância na produção agrícola. **Revista Interface Tecnológica**, v. 20, n. 2, p. 762-774, 2023.

SANTOS, K. P. S.; RODRIGUES, G. M.; VIEIRA, R. de C. A importância dos microrganismos para a fertilidade do solo. **Simpósio de Tecnologia Fatec Jaboticabal**, v. 5, n. 1, 2025.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SILVA, A. L. P.; LÉLIS, A. T.; SENA, W. L.; LIMA JÚNIOR, J. A. As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na agricultura. **Peer Review**, v. 6, n. 7, p. 96-106, 2024.

SILVA, G. C. F.; BALDICERA, A. K. A Importância Da Agricultura Sustentável Na Preservação Do Meio Ambiente. **Revista UNICREA-Revista Técnico Científica da Universidade Corporativa do Crea-SC**, v. 2, n. 2, p. 39-55, 2024.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SQUIZATTO, A. C.; BARCELOS, C. D.; BARROS, M. D. M. Guia do educador para o documentário “kiss the ground”. **Revista do Instituto de Ciências Humanas**, v. 24, n. 34, p. 142-151, 2025.

TOMAZELLI, D.; GÓSS-SOUZA, D.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; KLAUBERG-FILHO, O. **Biologia do Solo**. Freitas Bastos, 2024.

BACK, P. I. K.; SILVA, D. M.; SOUZA, E. L.; GUERRA, D.; LANZANOVA, M. E.; BALDONI, D. B.; BOHRER, R. E. G. Organismos edáficos como bioindicadores de qualidade do solo e da sustentabilidade ambiental. **Revista Vale**, v. 23, n. 1, 2025.

¹ Doutor em Agronomia. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Rodovia PB 079, km 12, CEP 58.397-000, Campus II. Areia – PB, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2080-0307>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Doutora em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa. Avenida Peter Henry Rolfs s/n, Campus Universitário, CEP 36.570-900, Viçosa-MG. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1872-5902>. E-mail: [acesse o](#)

[artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Especialista Em Fertilidade, Manejo De Solos E Nutrição De Plantas. Faculdade Iguaçu-PR. Avenida Botucaris, 1.590, Centro, CEP 85760-000, Capanema, PR. ORCID: [https://orcid.org/0000-0001-7922-](https://orcid.org/0000-0001-7922-7299)

[7299](#). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Doutorado em Ciência da Educação. UTCD Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo - Revalidado pela Universidade Estácio de Sá. Via Trento, 32 - Condomínio Vila Padova, Primavera do

Leste/MT. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1671-1766>. E-

mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Pós Graduação Em Metodologia De Ensino De Biologia E Química.

Faculdade Futura. Avenida Vale do Sol, 4876 - Vale do Sol, Votuporanga - SP, 15500-269. ORCID: [https://orcid.org/0000-0002-](https://orcid.org/0000-0002-7894-3362)

[7894-3362](#). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Mestra em Ensino de Biologia. IFPI, Campus Valença do Piauí.

Avenida Joaquim Manoel, s/n, CEP 64.300-000, Valença-PI.

Endereço: <https://lattes.cnpq.br/1405428772272148>. ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-9665-8995>. E-mail: [acesse o artigo](#)

[original para visualizar o e-mail](#)

⁷ Mestrando em Química. Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Endereço: Av. dos Portugueses, 1966. Bacanga - CEP 65080-805. São Luís - MA. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7621-6355>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁸ Mestrando em Agroecossistemas (PPGSIS) - UTFPR. Estr. p/ Boa Esperança, km 04 - Zona Rural, Dois Vizinhos - PR, 85660-000. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0936-8923>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

⁹ Mestrado em Manejo do Solo e Água. IFERSA. MOSSORÓ. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)