

Etec Prof. Jadyr Salles
Técnico em Açúcar e Alcool

Heloisa Helena Vizioli
Marineide Dourado dos Santos

EFEITOS DA VINHAÇA APLICADOS AO SOLO EM FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Porto Ferreira - SP,
2026

Heloisa Helena Vizioli
Marineide Dourado dos Santos

EFEITOS DA VINHAÇA APLICADOS AO SOLO EM FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito para obtenção do título de Técnico em Açúcar e
Álcool da Etec Prof. Jadyr Salles.

Professora Orientadora: Vivian Carnielli da Costa Iuan

Porto Ferreira - SP
2026

Heloisa Helena Vizioli
Marineide Dourado dos Santos

EFEITOS DA VINHAÇA APLICADOS AO SOLO EM FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES

Trabalho de Conclusão do Curso de Técnico em Açúcar e Alcool,
à Escola Técnica Estadual Professor Jadyr Salles, sob orientação
da Professora Vivian Carnielli da Costa Iuan.

Examinadores:

Marieli Monique Honorato Fernandes Asmus

Tatiana Jorge Monteiro Merenciano

Celso Ricardo Nogueira Jesus

Porto Ferreira - SP
2026

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a todas as pessoas que nos acompanharam durante esse percurso e que nos incentivaram na realização dessa conquista dando apoio, compreensão, paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, pois sabemos que está presente em nossas vidas em todos os momentos.

Agradecemos aos familiares pelo apoio, compreensão e por acreditarem que a conquista desse sonho seria possível.

Agradecemos aos colegas que durante o curso estiveram ao nosso lado nos momentos felizes e também nos difíceis.

Agradecemos aos professores pela dedicação e pelo incentivo para que continuássemos até o fim.

A nossa orientadora professora Vivian Carnielli da Costa Iuan pela paciência e dedicação durante o desenvolvimento desse trabalho, nossos sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

“Olhe profundamente para a natureza e então compreenderá tudo melhor.” — Albert Einstein

RESUMO

A produção de etanol gera grandes quantidades de vinhaça, um resíduo amplamente utilizado na agricultura devido ao seu elevado teor de matéria orgânica e nutrientes. Apesar dos benefícios proporcionados ao solo, a aplicação desse resíduo pode causar alterações na atividade dos microrganismos presentes no ambiente edáfico. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da aplicação da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, utilizando artigos científicos, livros, dissertações e publicações técnicas relacionadas ao tema. Os estudos analisados indicaram que a vinhaça, quando aplicada de forma adequada, pode favorecer a atividade biológica do solo e contribuir para a disponibilidade de nutrientes. Entretanto, aplicações excessivas podem provocar desequilíbrios químicos e biológicos, afetando a diversidade e o desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares. Conclui-se que o uso racional da vinhaça representa uma alternativa importante para a sustentabilidade agrícola, desde que realizado com manejo adequado e monitoramento constante da qualidade do solo.

Palavras-chave: vinhaça; cana-de-açúcar; fungos micorrízicos arbusculares; microbiota do solo; sustentabilidade.

ABSTRACT

Ethanol production generates large quantities of vinasse, a residue widely used in agriculture due to its high organic matter and nutrient content. Despite the benefits provided to the soil, the application of this residue can cause changes in the activity of microorganisms present in the soil environment. In this context, the present work aimed to analyze the effects of vinasse application on arbuscular mycorrhizal fungi in areas cultivated with sugarcane. The research was developed through a literature review, using scientific articles, books, dissertations, and technical publications related to the topic. The studies analyzed indicated that vinasse, when applied properly, can favor the biological activity of the soil and contribute to the availability of nutrients. However, excessive applications can cause chemical and biological imbalances, affecting the diversity and development of arbuscular mycorrhizal fungi. It is concluded that the rational use of vinasse represents an important alternative for agricultural sustainability, provided it is carried out with proper management and constant monitoring of soil quality.

Keywords: vinasse; sugarcane; arbuscular mycorrhizal fungi; soil microbiota; sustainability.

SUMÁRIO

EFEITOS DA VINHAÇA APLICADOS AO SOLO EM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	1
SUMÁRIO	9
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problemática	13
1.2 Justificativa	13
2 OBJETIVOS	133
2.1 Objetivo geral	133
2.2 Objetivos específicos	133
3 METODOLOGIA	144
4 REVISÃO DE LITERATURA	155
4.1 A vinhaça e sua utilização agrícola	156
4.2 Microbiota do solo e importância biológica	177
4.3 Fungos micorrízicos arbusculares	18
4.4 Efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares	211
5 CONCLUSÃO	244
REFERÊNCIAS	255

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar possui grande importância econômica para o Brasil, principalmente devido à produção de açúcar, etanol e energia. O setor sucroenergético brasileiro ocupa posição de destaque mundial, sendo responsável por elevada produção agrícola e industrial (CONAB, 2025). Em consequência desse crescimento, também ocorre aumento significativo da geração de resíduos provenientes do processamento da cana-de-açúcar, entre eles a vinhaça, um dos principais subprodutos resultantes da destilação do etanol (EMBRAPA et al., 2023).

A vinhaça apresenta elevada carga orgânica e grande concentração de nutrientes, especialmente potássio, cálcio e matéria orgânica (EMBRAPA et al., 2023). Durante muitos anos, esse resíduo foi considerado um problema ambiental devido ao seu potencial poluidor, principalmente quando descartado inadequadamente em rios e solos (FIGUEIREDO, 2008). Entretanto, com o avanço das práticas agrícolas sustentáveis, a vinhaça passou a ser utilizada na fertirrigação, permitindo o reaproveitamento de nutrientes no cultivo agrícola (LANCE et al., 2023).

A utilização da vinhaça no solo pode trazer benefícios importantes para a produção agrícola, como melhoria das propriedades químicas do solo, aumento da matéria orgânica e redução da necessidade de fertilizantes minerais (LANCE et al., 2023). Porém, a aplicação excessiva desse resíduo pode provocar alterações químicas e biológicas significativas, afetando diretamente o equilíbrio do ambiente edáfico (EMBRAPA et al., 2023).

Entre os componentes mais importantes do solo está a microbiota, formada por diferentes grupos de microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e manutenção da fertilidade. Dentro dessa microbiota destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que estabelecem relações simbióticas com as raízes das plantas e exercem papel fundamental na absorção de nutrientes e água (SMITH; READ, 2008).

Os fungos micorrízicos arbusculares contribuem diretamente para a produtividade agrícola, especialmente em culturas como a cana-de-açúcar. Além de favorecerem a absorção de fósforo, esses fungos auxiliam na estabilidade dos agregados do solo, na retenção de água e na tolerância das plantas a diferentes estresses ambientais (SMITH; READ, 2008; AZEVEDO, 2009).

Diversos estudos demonstram que a vinhaça pode estimular a atividade microbiana devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica no solo (EMBRAPA et al., 2023). Entretanto, os resultados encontrados na literatura ainda são divergentes, principalmente porque os efeitos da vinhaça dependem da dose aplicada, das características do solo e das condições ambientais (LANCE et al., 2023).

Em alguns casos, a aplicação controlada da vinhaça favorece a atividade microbiológica do solo e pode contribuir para o desenvolvimento de comunidades microbianas benéficas. Por outro lado, aplicações excessivas podem causar aumento da salinidade, alteração do pH e desequilíbrio da microbiota do solo, afetando negativamente determinados grupos de microrganismos (EMBRAPA et al., 2023; FIGUEIREDO, 2008)

Além dos aspectos agronômicos, a utilização inadequada da vinhaça também pode causar impactos ambientais importantes. O excesso de nutrientes no solo pode provocar contaminação de águas subterrâneas, alterações químicas no ambiente edáfico e possíveis reduções na biodiversidade microbiana (FIGUEIREDO, 2008; GONÇALVES; BORGES; SILVA, 2010).

1.1 Problemática

A utilização da vinhaça na fertirrigação da cana-de-açúcar apresenta importantes benefícios agronômicos, como o fornecimento de nutrientes e o aumento da matéria orgânica do solo. Entretanto, estudos demonstram que sua aplicação também pode provocar alterações na microbiota do solo, especialmente nos fungos micorrízicos arbusculares, cujos efeitos variam conforme a dose aplicada, as características do solo e as condições ambientais. Diante desse cenário, surge o seguinte problema de pesquisa:

Quais são os efeitos da aplicação de vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares em solos cultivados com cana-de-açúcar?

1.2 Justificativa

A aplicação da vinhaça na agricultura representa uma importante alternativa para o reaproveitamento de resíduos provenientes da produção de etanol, contribuindo para a fertilização do solo e para a redução do uso de fertilizantes minerais. Entretanto, seus efeitos sobre a qualidade biológica do solo ainda necessitam de maior aprofundamento científico.

Nesse contexto, os fungos micorrízicos arbusculares destacam-se por desempenharem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, na estruturação do solo, na absorção de água e nutrientes pelas plantas e na manutenção da fertilidade do ambiente agrícola. Por isso, compreender como a aplicação da vinhaça influencia esses microrganismos torna-se essencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Dessa forma, este estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre os efeitos da vinhaça na microbiota do solo, contribuindo para o uso mais racional desse resíduo e para a adoção de estratégias de manejo que conciliem produtividade agrícola, sustentabilidade e preservação da qualidade biológica do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da aplicação de vinhaça no solo sobre os fungos micorrízicos arbusculares em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência da vinhaça nas propriedades biológicas do solo;
- Avaliar a ocorrência e abundância de fungos micorrízicos arbusculares;
- Verificar alterações na diversidade desses microrganismos;
- Discutir os impactos positivos e negativos da aplicação da vinhaça.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza bibliográfica, com abordagem qualitativa, caráter descritivo e exploratório, tendo como objetivo analisar os efeitos da aplicação da vinhaça no solo, com ênfase sobre os fungos micorrízicos arbusculares em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida a partir da consulta a fontes secundárias, incluindo artigos científicos, dissertações, teses e publicações acadêmicas relacionadas ao tema. Foram utilizadas bases de dados como Google Acadêmico, Scielo e periódicos da área de ciências agrárias, além de documentos técnicos e estudos clássicos sobre microbiologia do solo e fertirrigação com vinhaça.

Para a seleção do material, adotaram-se como critérios de inclusão trabalhos que abordassem diretamente a aplicação de vinhaça no solo, os efeitos sobre a microbiota, a atuação dos fungos micorrízicos arbusculares e os impactos ambientais da fertirrigação.

Foram priorizados estudos com relevância científica, consistência metodológica e pertinência ao tema proposto. Trabalhos duplicados, com informações superficiais ou que não apresentassem relação direta com o objeto de estudo foram desconsiderados.

A coleta de dados ocorreu por meio de leitura exploratória inicial, seguida de leitura analítica e interpretativa. Durante essa etapa, foram extraídas informações relacionadas aos impactos da vinhaça sobre os microrganismos do solo, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares.

A análise dos dados foi realizada de forma comparativa e interpretativa, buscando identificar convergências e divergências entre os autores estudados. A partir dessa análise, foi possível compreender os principais efeitos da aplicação da vinhaça sobre a microbiota do solo e suas implicações para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A vinhaça e sua utilização agrícola

A vinhaça é um dos principais resíduos gerados pela indústria sucroenergética durante o processo de produção do etanol. Sua composição apresenta grande quantidade de matéria orgânica, elevada demanda bioquímica de oxigênio e altos teores de potássio, fatores que justificam seu reaproveitamento agrícola. De acordo com Santos et al. (2009), a produção elevada desse resíduo exige estratégias sustentáveis capazes de reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado da vinhaça.

Segundo Casarini (1989), a utilização da vinhaça na fertirrigação tornou-se uma alternativa importante para o reaproveitamento de resíduos e redução de impactos ambientais. Além de fornecer nutrientes ao solo, a prática contribui para a diminuição do uso de fertilizantes químicos, favorecendo também o aumento da matéria orgânica presente no ambiente edáfico (CASARINI, 1989).

A aplicação da vinhaça promove melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo, principalmente devido ao aumento da matéria orgânica e da capacidade de retenção de água. Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, a fertirrigação tornou-se uma prática comum devido ao seu potencial agrônomo e à possibilidade de reaproveitamento de nutrientes importantes para o desenvolvimento vegetal (PRIMAVESI, 2016).

Apesar dos benefícios, o uso inadequado da vinhaça pode provocar desequilíbrios ambientais importantes. Aplicações excessivas podem aumentar a salinidade do solo e causar alterações químicas capazes de comprometer o desenvolvimento vegetal e a atividade microbiana, principalmente em áreas submetidas à fertirrigação contínua (ALVES, 2015).

Outro fator importante está relacionado ao acúmulo de nutrientes, especialmente potássio, que em excesso pode provocar alterações na dinâmica biológica do solo. Dessa forma, torna-se necessário estabelecer critérios técnicos adequados para o manejo desse resíduo, evitando impactos negativos sobre os microrganismos responsáveis pela fertilidade e equilíbrio ecológico do solo (MALAVOLTA, 2006).

A fertirrigação com vinhaça também influencia diretamente a microbiota do solo. O aumento da disponibilidade de matéria orgânica favorece o crescimento microbiano, porém os efeitos variam de acordo com as características ambientais e a intensidade da aplicação,

podendo ocorrer alterações significativas na diversidade biológica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Santos et al. (2009), áreas fertirrigadas podem apresentar aumento da atividade de fungos e bactérias devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da vinhaça. No entanto, os autores destacam que aplicações contínuas e sem controle adequado podem reduzir determinados grupos microbianos mais sensíveis, alterando o equilíbrio ecológico do solo.

Esse aspecto demonstra que os efeitos da vinhaça não ocorrem de maneira uniforme. Enquanto alguns estudos apontam benefícios relacionados ao aumento da matéria orgânica e da atividade biológica, outros autores observam impactos negativos associados ao excesso de sais e nutrientes presentes no resíduo. Dessa forma, percebe-se que a resposta microbiológica depende diretamente da dose aplicada, da frequência da fertirrigação e das características químicas do solo.

Andreola (1982) destaca que fatores ambientais exercem forte influência sobre a microbiota do solo e sobre os processos relacionados à atividade micorrízica em áreas agrícolas. Solos com diferentes condições de textura, umidade e fertilidade podem responder de maneira distinta à aplicação da vinhaça, justificando as divergências observadas na literatura científica.

Além disso, outro aspecto importante refere-se à sustentabilidade da prática agrícola. Gliessman (2015) afirma que o reaproveitamento de resíduos orgânicos pode contribuir significativamente para sistemas agrícolas mais sustentáveis, desde que exista manejo racional e monitoramento ambiental constante. Nesse contexto, a vinhaça deixa de ser apenas um resíduo industrial e passa a ser considerada uma ferramenta de manejo agrícola.

Por outro lado, Taiz e Zeiger (2017) alertam que o excesso de nutrientes no solo pode provocar desequilíbrios fisiológicos e alterações na dinâmica biológica do ambiente agrícola. Assim, embora a fertirrigação apresente benefícios econômicos e agrônômicos, torna-se indispensável o estabelecimento de critérios técnicos capazes de evitar degradação ambiental e comprometimento da microbiota do solo.

Dessa forma, percebe-se que a utilização da vinhaça envolve uma relação complexa entre produtividade agrícola, fertilidade do solo e conservação ambiental. A literatura demonstra que os benefícios da fertirrigação dependem diretamente do manejo adequado e do equilíbrio entre reaproveitamento de nutrientes e preservação da qualidade biológica do solo.

4.2 Microbiota do solo e importância biológica

A microbiota do solo é formada por diferentes microrganismos responsáveis por processos fundamentais para o equilíbrio ambiental. Bactérias, fungos, actinomicetos e outros organismos participam ativamente da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, sendo essenciais para a manutenção da fertilidade e da qualidade biológica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Esses microrganismos exercem papel essencial na fertilidade do solo e na manutenção da produtividade agrícola. A atividade microbiana influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de contribuir para a estabilidade estrutural do solo e para o equilíbrio ecológico dos sistemas agrícolas (PRIMAVESI, 2016).

A presença de matéria orgânica favorece o desenvolvimento da microbiota, pois fornece substrato energético para os processos biológicos realizados pelos microrganismos do solo. Nesse sentido, a aplicação da vinhaça pode estimular a atividade microbiana devido ao aumento do aporte orgânico e da disponibilidade de nutrientes essenciais (CASARINI, 1989).

Segundo Alves (2015), a vinhaça pode aumentar a biomassa microbiana do solo, promovendo maior atividade metabólica e intensificação dos processos biológicos. Entretanto, o autor destaca que esse aumento nem sempre está associado à maior diversidade biológica, podendo ocorrer predominância de determinados grupos microbianos em detrimento de outros (ALVES, 2015).

Alterações na composição microbiana podem indicar processos de desequilíbrio ecológico. Em determinadas situações, o excesso de nutrientes favorece apenas alguns grupos de microrganismos, reduzindo a diversidade da comunidade e comprometendo a estabilidade biológica do solo (SANTOS et al., 2009).

Outro aspecto importante refere-se à sensibilidade da microbiota em relação às práticas agrícolas. Mudanças no pH, umidade e salinidade podem alterar significativamente a atividade biológica do solo, influenciando diretamente o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos presentes no ambiente edáfico (MALAVOLTA, 2006).

Os microrganismos também exercem importante função na agregação das partículas do solo, contribuindo para a retenção de água, redução da erosão e melhoria da estrutura física do ambiente agrícola. Dessa forma, a preservação da microbiota é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (GLIESSMAN, 2015).

Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, a microbiota sofre influência constante do manejo agrícola, incluindo aplicação de fertilizantes, irrigação e resíduos orgânicos. Segundo

Andreola (1982), práticas agrícolas intensivas podem provocar alterações significativas na dinâmica microbiológica e na atividade dos fungos presentes no solo.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), alterações na microbiota podem comprometer processos fundamentais relacionados à decomposição da matéria orgânica e à ciclagem de nutrientes. Isso demonstra que a qualidade biológica do solo depende diretamente da estabilidade das comunidades microbianas presentes no ambiente agrícola.

Além disso, estudos recentes demonstram que práticas agrícolas intensivas podem provocar redução da biodiversidade microbiana, principalmente quando ocorre uso excessivo de fertilizantes e resíduos orgânicos sem acompanhamento técnico adequado. Nesse contexto, a microbiota torna-se extremamente sensível às alterações químicas provocadas no solo (CARNEIRO et al., 2015).

Outro aspecto importante refere-se à relação entre diversidade microbiana e sustentabilidade agrícola. Solos biologicamente equilibrados apresentam maior capacidade de retenção de água, estabilidade estrutural e resistência a processos de degradação ambiental. Dessa forma, a preservação da microbiota não está relacionada apenas à fertilidade, mas também à manutenção da qualidade ambiental dos sistemas agrícolas (GLIESSMAN, 2015).

Percebe-se ainda que os microrganismos do solo exercem funções integradas e dependentes entre si. Alterações em determinados grupos microbianos podem influenciar toda a dinâmica ecológica do ambiente, afetando inclusive o desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares e a absorção de nutrientes pelas plantas cultivadas.

Estudos indicam que práticas agrícolas inadequadas podem provocar redução da qualidade biológica do solo, comprometendo processos ecológicos essenciais relacionados à ciclagem de nutrientes e à manutenção da fertilidade. Assim, compreender a relação entre vinhaça e microbiota é fundamental para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais equilibrados e sustentáveis (TAIZ; ZEIGER, 2017).

4.3 Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem ao filo Glomeromycota e estabelecem relações simbióticas com as raízes das plantas. Essa associação proporciona benefícios tanto para os fungos quanto para os vegetais, favorecendo a troca de nutrientes e fortalecendo o desenvolvimento das plantas em diferentes condições ambientais (SIQUEIRA, 2010).

Os FMAs auxiliam principalmente na absorção de fósforo, nutriente de baixa mobilidade no solo. Além disso, contribuem para a absorção de água e aumento da resistência das plantas a estresses ambientais, como seca, salinidade e deficiência nutricional (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) desempenham papel fundamental na manutenção da qualidade biológica do solo, contribuindo para a absorção de nutrientes pelas plantas, para a estabilidade dos agregados do solo e para o equilíbrio dos processos ecológicos. Além disso, a diversidade e a ocorrência desses microrganismos são influenciadas pelas características químicas e físicas do ambiente edáfico, tornando-os importantes indicadores biológicos das condições do solo (LAURINDO et al., 2020).

A presença de FMAs em áreas cultivadas com cana-de-açúcar é bastante comum, sendo observada elevada diversidade de espécies em diferentes regiões produtoras do Brasil. Estudos apontam que a abundância desses fungos pode variar de acordo com as características ambientais e o manejo agrícola adotado (REIS; PAULA; DÖBEREINER, 1999).

Os fungos micorrízicos também contribuem para a agregação do solo por meio da produção de substâncias que favorecem a união das partículas minerais, melhorando a estrutura física e aumentando a estabilidade dos agregados do solo (PRIMAVESI, 2016).

Além disso, a simbiose micorrízica auxilia na proteção das plantas contra determinados patógenos presentes no solo. Essa relação contribui para maior resistência das raízes e melhor equilíbrio biológico no ambiente agrícola (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Diversos fatores influenciam o desenvolvimento desses fungos, incluindo fertilidade, umidade, temperatura e práticas agrícolas adotadas. Alterações ambientais podem interferir diretamente na colonização micorrízica e no funcionamento dessa associação simbiótica (MALAVOLTA, 2006).

Segundo Andreola (1982), fatores ambientais exercem grande influência sobre a colonização micorrízica, podendo inclusive apresentar maior impacto que determinados insumos agrícolas utilizados no cultivo da cana-de-açúcar.

A disponibilidade excessiva de nutrientes no solo pode reduzir a dependência das plantas em relação às micorrizas, diminuindo a colonização das raízes pelos fungos. Dessa forma, o equilíbrio das condições químicas e biológicas do solo é fundamental para a manutenção adequada da atividade micorrízica (ALVES, 2015).

Os fungos micorrízicos arbusculares possuem grande importância ecológica, pois participam diretamente da ciclagem de nutrientes e da manutenção da fertilidade natural do

solo. A presença desses microrganismos favorece o equilíbrio ecológico dos sistemas agrícolas e contribui para a sustentabilidade da produção vegetal (GLIESSMAN, 2015).

Além da absorção de fósforo, os FMAs também auxiliam no aproveitamento de outros nutrientes essenciais, como zinco, cobre e nitrogênio, promovendo melhor desenvolvimento das plantas cultivadas. Esse processo torna-se ainda mais importante em solos com baixa fertilidade natural (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em áreas agrícolas submetidas ao manejo intensivo, a atividade micorrízica pode sofrer alterações significativas devido ao uso excessivo de fertilizantes químicos e resíduos orgânicos. Segundo Santos et al. (2009), mudanças na composição química do solo influenciam diretamente a dinâmica da microbiota e o desenvolvimento dos fungos presentes no ambiente.

Outro aspecto importante refere-se à relação entre os fungos micorrízicos e a tolerância das plantas aos estresses ambientais. Em condições de seca ou baixa disponibilidade hídrica, as micorrizas auxiliam na absorção de água, favorecendo a resistência fisiológica das culturas agrícolas (SIQUEIRA, 2010).

Estudos também demonstram que os FMAs exercem influência positiva sobre a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em áreas onde há limitação nutricional ou degradação do solo. Nessas condições, a presença das micorrizas contribui para maior desenvolvimento radicular e melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis (REIS; PAULA; DÖBEREINER, 1999).

Segundo Siqueira (2010), os fungos micorrízicos arbusculares apresentam elevada importância ecológica devido à capacidade de ampliar a área de absorção radicular das plantas. Essa associação favorece principalmente o aproveitamento de nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo.

Entretanto, alguns autores destacam que a eficiência dessa relação simbiótica pode ser reduzida em ambientes submetidos ao manejo agrícola intensivo. O excesso de nutrientes disponíveis no solo pode diminuir a dependência fisiológica das plantas em relação às micorrizas, reduzindo a colonização das raízes pelos fungos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Além disso, fatores ambientais como temperatura, umidade, compactação e salinidade exercem forte influência sobre a atividade micorrízica. Andreola (1982) afirma que mudanças ambientais provocadas por práticas agrícolas inadequadas podem comprometer significativamente a diversidade dos FMAs no solo.

Outro aspecto relevante refere-se à sensibilidade dos FMAs às alterações promovidas pelo manejo agrícola. Mudanças na fertilidade, no pH e na disponibilidade de nutrientes podem

modificar a composição e a abundância dessas comunidades fúngicas, refletindo diretamente as condições ambientais e o estado de conservação do solo (LAURINDO et al., 2020).

Nesse contexto, percebe-se que a preservação dos FMAs depende diretamente da adoção de práticas agrícolas sustentáveis capazes de manter equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental.

A preservação dos fungos micorrízicos arbusculares depende diretamente da adoção de práticas agrícolas sustentáveis e do manejo adequado do solo. A utilização equilibrada de resíduos como a vinhaça pode favorecer a atividade biológica, desde que realizada de maneira controlada e baseada em critérios técnicos adequados (CASARINI, 1989).

4.4 Efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares

Os efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) ainda geram discussões na literatura científica, principalmente porque os resultados encontrados variam conforme as condições ambientais, características químicas do solo, dose aplicada e frequência da fertirrigação. Dessa forma, não é possível afirmar de maneira absoluta que a vinhaça provoca apenas benefícios ou apenas prejuízos à microbiota do solo. Os estudos demonstram que seus efeitos dependem diretamente da forma de manejo adotada nas áreas agrícolas (SANTOS et al., 2009).

Em aplicações controladas, a vinhaça pode favorecer o desenvolvimento da atividade microbiológica devido ao aumento da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes no solo. Segundo Casarini (1989), o aporte orgânico fornecido pela vinhaça contribui para a intensificação da atividade biológica, estimulando processos relacionados à decomposição da matéria orgânica e à ciclagem de nutrientes.

Entretanto, alguns autores destacam que esse aumento da atividade biológica nem sempre representa melhoria na diversidade microbiana. Alves (2015) observou que aplicações contínuas e elevadas podem favorecer determinados grupos de microrganismos em detrimento de outros, causando desequilíbrios ecológicos importantes no ambiente edáfico. Esse aspecto demonstra que maior atividade microbiana não significa necessariamente maior equilíbrio biológico.

Além disso, outro fator importante refere-se à elevada concentração de potássio presente na vinhaça. Em excesso, esse nutriente pode alterar a dinâmica química do solo e interferir

diretamente na relação simbiótica entre plantas e fungos micorrízicos. Taiz e Zeiger (2017) explicam que, quando existe elevada disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente fósforo e potássio, as plantas reduzem sua dependência das associações micorrízicas, diminuindo a colonização das raízes pelos FMAs.

Nesse contexto, percebe-se uma divergência importante entre os estudos. Enquanto alguns autores relatam aumento da atividade microbiológica após a aplicação da vinhaça, outros observam redução da colonização micorrízica em condições de fertirrigação excessiva. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que os FMAs respondem não apenas à presença de matéria orgânica, mas também às alterações de salinidade, pH, umidade e disponibilidade nutricional provocadas no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Andreola (1982) destaca que fatores ambientais exercem forte influência sobre os fungos micorrízicos arbusculares, podendo inclusive apresentar maior impacto que determinados insumos agrícolas. Dessa forma, áreas submetidas à fertirrigação contínua podem apresentar respostas distintas dependendo do tipo de solo e das condições climáticas locais.

Outro aspecto relevante está relacionado à salinidade. Aplicações excessivas de vinhaça podem elevar a concentração de sais no solo, prejudicando o desenvolvimento dos microrganismos mais sensíveis. Segundo Malavolta (2006), alterações químicas associadas ao excesso de sais interferem diretamente na atividade biológica do solo, comprometendo processos ecológicos importantes relacionados à fertilidade.

O monitoramento da microbiota do solo em áreas fertirrigadas é considerado importante para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Nesse contexto, os fungos micorrízicos arbusculares podem ser utilizados como bioindicadores, auxiliando na avaliação do equilíbrio ecológico e da qualidade biológica do ambiente edáfico (Smith; Read, 2008).

Os fungos micorrízicos desempenham papel central na estabilidade funcional dos ecossistemas terrestres, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e resiliência das plantas. Sua sensibilidade às alterações de manejo e às condições ambientais permite seu uso como indicadores biológicos da qualidade do solo (SMITH; READ, 2008).

A partir dessa análise, percebe-se que a utilização da vinhaça exige equilíbrio entre produtividade agrícola e conservação ambiental. Quando manejada corretamente, a fertirrigação pode contribuir para o reaproveitamento de resíduos e melhoria das propriedades biológicas do solo. Porém, aplicações inadequadas podem comprometer a diversidade microbiológica e reduzir a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares.

Outro ponto importante refere-se à necessidade de considerar as diferenças entre os estudos analisados. Muitos trabalhos apresentam resultados divergentes porque utilizam doses

distintas de vinhaça, diferentes tipos de solo e períodos variados de avaliação. Dessa forma, a interpretação científica não deve ocorrer de maneira isolada, sendo necessário compreender todo o contexto experimental envolvido nas pesquisas.

Além disso, pesquisas recentes apontam que a sustentabilidade da fertilização depende diretamente do manejo racional da vinhaça e do acompanhamento técnico constante das áreas agrícolas. O monitoramento dos atributos biológicos do solo torna-se essencial para evitar degradação ambiental e preservar os processos ecológicos responsáveis pela fertilidade agrícola (ALTOÉ, 2021).

Conforme destacam Carneiro et al. (2015), práticas agrícolas sustentáveis precisam considerar não apenas a produtividade da cultura, mas também a manutenção da biodiversidade microbiana do solo. Nesse sentido, os fungos micorrízicos arbusculares possuem papel fundamental na estabilidade ecológica dos sistemas agrícolas modernos.

Dessa forma, torna-se evidente que os efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares dependem da interação entre fatores químicos, biológicos e ambientais. Assim, o uso racional desse resíduo pode favorecer a sustentabilidade agrícola, desde que realizado com critérios técnicos adequados e monitoramento contínuo da qualidade biológica do solo.

5 CONCLUSÃO

A análise da literatura permitiu compreender que a aplicação da vinhaça no solo constitui uma prática amplamente utilizada no cultivo da cana-de-açúcar, apresentando potencial agrônômico importante devido ao fornecimento de matéria orgânica e nutrientes essenciais.

Entretanto, os resultados demonstram que seus efeitos sobre a microbiota do solo, especialmente sobre os fungos micorrízicos arbusculares, não ocorrem de forma homogênea, variando conforme fatores como dose aplicada, tipo de solo e condições ambientais.

Em relação ao objetivo geral, verificou-se que a vinhaça pode tanto favorecer quanto limitar o desenvolvimento dos fungos micorrízicos arbusculares. Em condições controladas e com manejo adequado, observa-se estímulo à atividade microbiana e possível aumento da colonização micorrízica. Por outro lado, a aplicação excessiva pode provocar alterações químicas no solo, como aumento da salinidade e da concentração de nutrientes, reduzindo a dependência das plantas pela simbiose micorrízica.

Os resultados também indicam que os efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos devem ser analisados dentro de um contexto mais amplo, considerando a complexidade das interações biológicas no solo. Nesse sentido, a literatura aponta divergências que reforçam a necessidade de um manejo criterioso, baseado em parâmetros técnicos que garantam o equilíbrio entre produtividade agrícola e conservação da qualidade biológica do solo.

Dessa forma, conclui-se que a utilização da vinhaça pode ser uma estratégia sustentável, desde que aplicada de maneira racional e monitorada, evitando excessos que comprometam a estrutura e o funcionamento da microbiota do solo. O estudo contribui ao evidenciar a importância dos fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da qualidade do solo e reforça a necessidade de práticas agrícolas que integrem produtividade e sustentabilidade.

Por fim, destaca-se como limitação desta pesquisa o fato de ter sido baseada exclusivamente em revisão bibliográfica, o que evidencia a necessidade de estudos experimentais futuros que permitam avaliar, em condições reais de campo, os efeitos da vinhaça sobre os fungos micorrízicos arbusculares.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. Impactos da aplicação de vinhaça sobre atributos biológicos do solo. Jaboticabal: UNESP, 2015.
- ANDREOLA, F. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solos cultivados com cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982.
- ALTOÉ, M. E. Avaliação da fertilidade e efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas do solo cultivado com cana-de-açúcar. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2021.
- AZEVEDO, L. C. B. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares no solo e raízes de cana-de-açúcar. 2009. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001726638>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- CASARINI, C. P. Utilização agrícola da vinhaça. Campinas: Fundação Cargill, 1989.
- CARNEIRO, M. A. C.; FERREIRA, D. A.; SOUSA, E. D.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos arbusculares em agregados do solo de campos de murundus convertidos em agricultura. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 50, n. 4, p. 313-321, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 16 nov. 2025.
- EMBRAPA. Fertirrigação com vinhaça na cana-de-açúcar: avaliação do desenvolvimento inicial, condutividade elétrica e teor de potássio no solo.. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1183405/fertirrigacao-com-vinhaca-na-cana-de-acucar-avaliacao-do-desenvolvimento-inicial-condutividade-eletrica-e-teor-de-potassio-no-solo>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- FIGUEIREDO, P. A. M. et al. Efeitos da vinhaça nas características químicas do solo cultivado com cana-de-açúcar. Embrapa, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/48656>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015.
- GONÇALVES, H. M.; BORGES, J. D.; SILVA, M. A. S. Acúmulo de metais pesados e enxofre no solo em áreas de influência de canais de vinhaça de fertirrigação. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 132-138, 2010. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7012>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- LANCE, L. R. G. et al. Fertirrigação com vinhaça na cana-de-açúcar: avaliação do desenvolvimento inicial, condutividade elétrica e teor de potássio no solo. Irriga, Botucatu, 2023. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4753>. Acesso em: 18 jan. 2026.
- LAURINDO, L. K.; SOUZA, T. A. F.; SILVA, L. J. R.; CASAL, T. B.; et al. Fungos micorrízicos arbusculares. In: SOUZA, T. A. F.; LAURINDO, L. K. (org.). Indicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais e ecossistemas associados. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 2020. p. 5-23.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 19. ed. São Paulo: Nobel, 2016.

REIS, V. M.; PAULA, M. A. de; DÖBEREINER, J. Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 10, p. 1933–1941, 1999.

SANTOS, D. H. et al. Fertirrigação com vinhaça e impactos sobre atributos microbiológicos do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 56-62, 2009.

SIQUEIRA, J. O. et al. (Org.). Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras: Editora UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis. 3. ed. London: Academic Press, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.