Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

OPEN ACCESS

doi.org/10.51891/rease.v12i11.32332

ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA PRODUÇÃO DE MUDAS: REDUÇÃO DE INSUMOS QUÍMICOS E USO DE BIOINSUMOS

SUSTAINABLE ALTERNATIVES IN SEEDLING PRODUCTION: REDUCING CHEMICAL INPUTS AND USING BIOINPUTS

ALTERNATIVAS SOSTENIBLES EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS: REDUCCIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS Y USO DE BIOINSUMOS

Emilly Vitória da Silva Lopes[1]
Roberta Yajima de Godoy Dias[2]

RESUMO: A produção de mudas constitui uma etapa importante para o estabelecimento das plantas, sendo influenciada pela qualidade do substrato, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições de cultivo. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis tem ampliado o interesse pelo aproveitamento de resíduos orgânicos e pela utilização de bioinsumos como estratégias complementares ao manejo convencional. O presente trabalho teve como objetivo analisar alternativas sustentáveis para a produção de mudas, com ênfase na possibilidade de reduzir a utilização de determinados insumos químicos e no emprego de bioinsumos. Para isso, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa e caráter integrativo, com base em estudos científicos e documentos técnicos relacionados ao tema. A análise contemplou pesquisas sobre substratos orgânicos, resíduos processados e microrganismos benéficos, considerando seus efeitos sobre o desenvolvimento vegetal e suas limitações de utilização. Os estudos examinados indicam que resíduos orgânicos adequadamente processados podem ser utilizados na composição de substratos e que determinados microrganismos podem favorecer características de crescimento das mudas. Entretanto, as respostas variam conforme a espécie vegetal, a composição do substrato, o microrganismo empregado e as condições de cultivo. Conclui-se que essas alternativas apresentam potencial para diversificar o manejo e favorecer o uso mais eficiente dos recursos na produção de mudas. Contudo, sua adoção exige avaliação técnica e não representa, necessariamente, a substituição completa dos insumos químicos, sendo necessária a realização de estudos que quantifiquem a redução efetiva desses recursos.

Palavras-chave: Produção de mudas. Substratos orgânicos. Bioinsumos. Microrganismos benéficos. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT: Seedling production is an important stage in plant establishment and is influenced by substrate quality, nutrient availability, and growing conditions. In this context, the search for sustainable alternatives has increased interest in the use of organic waste and bioinputs as complementary strategies to conventional management. This study aimed to analyze sustainable alternatives for seedling production, with an emphasis on the possibility of reducing the use of certain chemical inputs and employing bioinputs. A qualitative bibliographic study with an integrative approach was conducted based on scientific studies and technical documents related to the subject. The analysis included research on organic substrates, processed residues, and beneficial microorganisms, considering their effects on plant development and their limitations. The studies examined indicate that properly processed organic residues can be used in substrate formulations and that certain microorganisms may improve seedling growth characteristics. However, responses vary according to

[1] Graduanda do Curso de Bacharelado em Agronomia. Faculdade Cristo Rei (FACCREI), Cornélio Procópio, PR.
[2] Orientadora. Engenheira agrônoma (UENP, campus Luiz Meneghel). Professora do curso de Bacharelado em Agronomia e coordenadora de estágio. Faculdade Cristo Rei (FACCREI), Cornélio Procópio, PR.

plant species, substrate composition, microorganism used, and growing conditions. It is concluded that these alternatives have the potential to diversify management practices and promote more efficient resource use in seedling production. Nevertheless, their adoption requires technical evaluation and does not necessarily imply the complete replacement of chemical inputs. Further studies are needed to quantify the actual reduction in the use of these resources.

Keywords: Seedling production. Organic substrates. Bioinputs. Beneficial microorganisms. Agricultural sustainability.

RESUMEN: La producción de plántulas constituye una etapa importante para el establecimiento de las plantas y está influenciada por la calidad del sustrato, la disponibilidad de nutrientes y las condiciones de cultivo. En este contexto, la búsqueda de alternativas sostenibles ha aumentado el interés por el aprovechamiento de residuos orgánicos y la utilización de bioinsumos como estrategias complementarias al manejo convencional. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar alternativas sostenibles para la producción de plántulas, con énfasis en la posibilidad de reducir el uso de determinados insumos químicos y en la utilización de bioinsumos. Para ello, se desarrolló una investigación bibliográfica, de enfoque cualitativo y carácter integrador, basada en estudios científicos y documentos técnicos relacionados con el tema. El análisis incluyó investigaciones sobre sustratos orgánicos, residuos procesados y microorganismos beneficiosos, considerando sus efectos sobre el desarrollo vegetal y sus limitaciones de utilización. Los estudios examinados indican que los residuos orgánicos procesados adecuadamente pueden utilizarse en la composición de sustratos y que determinados microorganismos pueden favorecer características del crecimiento de las plántulas. Sin embargo, las respuestas varían según la especie vegetal, la composición del sustrato, el microorganismo empleado y las condiciones de cultivo. Se concluye que estas alternativas presentan potencial para diversificar el manejo y favorecer un uso más eficiente de los recursos en la producción de plántulas. No obstante, su adopción requiere una evaluación técnica y no implica necesariamente la sustitución completa de los insumos químicos. Se necesitan nuevos estudios que cuantifiquen la reducción efectiva del uso de estos recursos.

Palabras clave: Producción de plántulas. Sustratos orgánicos. Bioinsumos. Microorganismos beneficiosos. Sostenibilidad agrícola.

1 INTRODUÇÃO

A produção de mudas constitui uma etapa fundamental para o estabelecimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas e florestais, uma vez que a qualidade das mudas influencia diretamente o seu desempenho após o transplantio. Mudas bem desenvolvidas apresentam melhores condições para se adaptar ao ambiente de cultivo, estabelecer o sistema radicular e dar continuidade ao crescimento vegetativo. Nesse sentido, a escolha dos substratos, o fornecimento adequado de nutrientes e o manejo das condições de produção são fatores importantes para a obtenção de plantas com qualidade e vigor. Dessa forma, a produção de mudas exige cuidados técnicos que considerem as necessidades de cada espécie e as condições necessárias para seu desenvolvimento inicial.

Tradicionalmente, a produção de mudas utiliza diferentes insumos para favorecer o crescimento das plantas, entre eles fertilizantes minerais, corretivos e produtos destinados ao

controle de organismos que podem prejudicar o desenvolvimento vegetal. Embora esses recursos contribuam para o manejo e a obtenção de mudas de qualidade, seu uso inadequado ou excessivo pode aumentar os custos de produção e gerar impactos ambientais, especialmente quando não são considerados as características do substrato, as exigências nutricionais das espécies e as condições de cultivo. Por esse motivo, torna-se importante avaliar estratégias que permitam utilizar esses insumos de maneira mais eficiente, sem comprometer a qualidade das mudas produzidas.

A busca por sistemas de produção mais sustentáveis tem ampliado o interesse por práticas que aproveitem melhor os recursos disponíveis e reduzam a dependência de determinados insumos químicos. Essa perspectiva envolve não apenas a substituição de materiais utilizados na produção, mas também a adoção de formas de manejo que considerem os processos biológicos, a conservação dos recursos naturais e a eficiência no uso de nutrientes. Nesse contexto, as alternativas sustentáveis podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas produtivos que conciliem a qualidade das mudas, a viabilidade econômica e a redução de possíveis impactos ambientais.

Entre as alternativas estudadas, destacam-se os substratos orgânicos e aqueles preparados a partir do aproveitamento de resíduos agroindustriais e de outros materiais disponíveis. O substrato exerce funções essenciais no desenvolvimento das mudas, pois proporciona sustentação às plantas e influencia a disponibilidade de água, a aeração e o fornecimento de nutrientes às raízes. Por isso, suas características físicas, químicas e biológicas devem ser consideradas na escolha dos materiais e na definição das proporções utilizadas. Conforme discutido por Jorge et al. (2020), a seleção do substrato deve considerar as exigências da espécie cultivada e as condições necessárias para o desenvolvimento adequado das mudas.

O aproveitamento de resíduos orgânicos na composição de substratos também representa uma possibilidade de agregar valor a materiais que, em outras condições, poderiam ser descartados. A compostagem e o tratamento adequado desses resíduos podem favorecer sua utilização na produção vegetal, desde que sejam observadas características como estabilidade, disponibilidade de nutrientes, salinidade e adequação ao desenvolvimento das plantas. Da Ros et al. (2015), ao estudarem substratos compostados na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*, verificaram que as respostas variaram conforme a espécie e a composição do substrato. Esse resultado demonstra que materiais alternativos podem apresentar potencial de

utilização, mas sua eficiência depende de avaliação e manejo adequados, não sendo possível considerar todos os resíduos orgânicos igualmente apropriados para qualquer espécie.

Além dos substratos, os bioinsumos constituem outra alternativa relevante para a busca de maior sustentabilidade na produção agrícola. Esses recursos podem incluir produtos e agentes biológicos utilizados para contribuir com processos relacionados à nutrição, ao crescimento e à proteção das plantas. No Brasil, a instituição do Programa Nacional de Bioinsumos, por meio do Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, demonstra a importância atribuída ao desenvolvimento e à utilização desses recursos nos sistemas agropecuários. Na produção de mudas, o interesse pelos bioinsumos está relacionado à possibilidade de favorecer processos biológicos e melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis, considerando as condições específicas de cada sistema produtivo.

Entre os recursos biológicos estudados encontram-se os microrganismos benéficos, que podem atuar em processos como a disponibilização de nutrientes, a associação com as raízes e a promoção do crescimento vegetal. Entretanto, seus efeitos não são uniformes, pois dependem de fatores como a espécie vegetal, o microrganismo utilizado, as características do substrato e as condições de cultivo. Sousa, Soares e Garrido (2009), por exemplo, avaliaram a produção de mudas de tomateiro em substrato orgânico inoculado e incubado com *Estreptomicetos* e observaram respostas favoráveis em características de crescimento, embora os resultados variassem conforme o isolado utilizado. Esse tipo de estudo evidencia o potencial dos microrganismos como componentes de estratégias sustentáveis, ao mesmo tempo que demonstra a necessidade de avaliar sua eficiência em diferentes condições de produção.

A interação entre substratos, microrganismos e fertilização também merece atenção, pois o desenvolvimento das mudas depende da combinação de diferentes fatores. Dalanhol et al. (2017), ao investigarem a influência de micorrizas, fertilização e diferentes substratos no crescimento de mudas de *Campomanesia xanthocarpa*, contribuíram para demonstrar a importância de analisar conjuntamente esses componentes. Da mesma forma, Freire et al. (2017), ao estudarem mudas de *Mimosa bimucronata* inoculadas com estirpes de rizóbio, verificaram que as respostas dependeram das condições de cultivo e do substrato utilizado, não sendo observada superioridade da inoculação em todas as comparações. Essas evidências reforçam que a adoção de bioinsumos e microrganismos benéficos deve ser fundamentada em resultados científicos, evitando generalizações sobre sua eficácia.

Diante desse cenário, a redução do uso de determinados insumos químicos na produção de mudas não deve ser compreendida como uma substituição automática ou integral desses recursos por alternativas orgânicas e biológicas. Trata-se de avaliar possibilidades de manejo que permitam melhorar a eficiência produtiva, aproveitar materiais alternativos e utilizar recursos biológicos de maneira adequada às necessidades das plantas. Para isso, é importante considerar não somente os benefícios potenciais dessas alternativas, mas também suas limitações, as condições necessárias para sua aplicação e a consistência dos resultados encontrados nos estudos científicos. A análise conjunta dessas informações pode contribuir para identificar estratégias mais adequadas a diferentes espécies e sistemas de produção.

Embora existam estudos sobre substratos alternativos, aproveitamento de resíduos orgânicos e utilização de microrganismos benéficos, os resultados apresentados na literatura variam conforme os materiais empregados, as espécies avaliadas e as condições experimentais. Essa diversidade torna relevante reunir e analisar as evidências disponíveis, buscando compreender quais alternativas apresentam resultados promissores, em quais condições são utilizadas e quais aspectos ainda necessitam de investigação. Assim, uma revisão da literatura pode contribuir para organizar o conhecimento científico sobre o tema e oferecer subsídios para decisões relacionadas ao manejo sustentável na produção de mudas.

Diante desse contexto, questiona-se: de que maneira as alternativas sustentáveis, especialmente os bioinsumos, os microrganismos benéficos e os substratos orgânicos, podem contribuir para a redução da utilização de determinados insumos químicos na produção de mudas?

Com base nessa questão, o objetivo deste trabalho é analisar as evidências científicas sobre a utilização de substratos orgânicos, bioinsumos e microrganismos benéficos na produção de mudas, investigando em que condições essas alternativas podem contribuir para a redução do uso de determinados insumos químicos. Busca-se identificar quais recursos convencionais podem ser parcialmente substituídos, verificar se os estudos apresentam resultados que comprovem essa redução e discutir as limitações relacionadas à manutenção da qualidade das mudas. Para isso, desenvolve-se uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa, orientada pela revisão integrativa da literatura, com a finalidade de comparar os resultados encontrados e distinguir as possibilidades de redução de insumos das situações em que foi demonstrado apenas um efeito favorável sobre o desenvolvimento vegetal. O artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, apresenta-se a revisão de literatura, com

enfoque nos substratos orgânicos, nos bioinsumos e nas possibilidades de manejo sustentável na produção de mudas. Na sequência, são descritos os procedimentos metodológicos adotados. Posteriormente, são apresentados e discutidos os resultados identificados na literatura. Por fim, apresentam-se as considerações finais, seguidas das referências utilizadas no estudo.

2 SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS

2.1 Produção de mudas e sustentabilidade na agricultura

A produção de mudas representa uma etapa importante para o estabelecimento das culturas, pois as condições de desenvolvimento inicial podem influenciar a adaptação das plantas após o transplantio. Mudas com sistema radicular bem formado, parte aérea equilibrada e condições sanitárias adequadas apresentam características desejáveis para o estabelecimento no local definitivo. Entretanto, essas características dependem de diferentes fatores, incluindo a qualidade do material propagativo, a disponibilidade de nutrientes, o manejo da irrigação e as propriedades do substrato.

Jorge et al. (2020) destacam a importância de conhecer as características dos componentes utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas de hortaliças. Os materiais empregados devem proporcionar condições adequadas de sustentação, retenção de água, aeração e desenvolvimento radicular. Dessa forma, a escolha do substrato deve considerar as exigências da espécie e as condições de cultivo.

A sustentabilidade na produção de mudas está relacionada ao uso responsável dos recursos naturais, ao aproveitamento de materiais disponíveis e à busca por práticas que mantenham a qualidade das plantas. Essa abordagem não significa eliminar todos os insumos convencionais, mas avaliar formas de utilizá-los com maior eficiência e de integrar alternativas que apresentem resultados adequados.

O aproveitamento de resíduos orgânicos e o emprego de produtos biológicos podem fazer parte dessa estratégia. No entanto, sua utilização exige conhecimento técnico, pois a origem dos materiais, seu processamento e as condições de aplicação interferem nos resultados. Assim, a adoção de práticas sustentáveis deve considerar simultaneamente os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos.

Figura 1 – Semeadura de mudas em bandejas multicelulares



Fonte: Bittar (2015).

2.2 Substratos orgânicos e aproveitamento de resíduos

Os substratos utilizados na produção de mudas exercem funções fundamentais para o crescimento vegetal, uma vez que influenciam a disponibilidade de água, a circulação de ar, a sustentação das raízes e o fornecimento de nutrientes. Suas propriedades físicas, químicas e biológicas devem ser compatíveis com as necessidades da espécie cultivada.

Entre as alternativas disponíveis estão os substratos formulados com composto orgânico, resíduos vegetais processados e outros materiais de origem orgânica. O aproveitamento desses recursos pode ampliar as possibilidades de obtenção de componentes para os substratos e contribuir para a utilização de resíduos gerados em diferentes atividades. Entretanto, a incorporação desses materiais precisa ser acompanhada de avaliação técnica.

Da Ros et al. (2015) estudaram substratos obtidos por meio da compostagem de resíduos orgânicos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. Os autores observaram que determinados substratos compostados proporcionaram resultados favoráveis para características como altura e diâmetro do colo das mudas, indicando a possibilidade de utilização de alguns materiais em substituição ao substrato comercial avaliado no estudo.

Esse resultado demonstra o potencial do aproveitamento de resíduos, mas não significa que qualquer resíduo possa ser utilizado diretamente na produção de mudas. A composição

química, o grau de decomposição, a salinidade, o pH e a presença de possíveis contaminantes precisam ser considerados. Além disso, as proporções utilizadas na formulação podem modificar as propriedades finais do substrato.

Jorge et al. (2020) reforçam que a escolha dos componentes deve considerar as características dos materiais e as recomendações de utilização. Portanto, a utilização de substratos orgânicos deve ser planejada de acordo com a espécie cultivada e com as condições de produção, evitando a adoção de formulações sem avaliação prévia.

Outro aspecto importante é a disponibilidade regional dos materiais. Resíduos encontrados próximos aos viveiros podem representar alternativas interessantes quando apresentam qualidade adequada e custos de processamento compatíveis. Contudo, o transporte, o armazenamento e o preparo também devem ser considerados para verificar a viabilidade de utilização.

Dessa forma, os substratos orgânicos apresentam potencial para integrar sistemas de produção de mudas mais sustentáveis, desde que sua utilização seja baseada em critérios técnicos. A substituição de materiais convencionais deve considerar não apenas a origem do substrato, mas também seu desempenho agronômico e sua adequação às necessidades das plantas.

2.3 Bioinsumos e microrganismos benéficos

Os bioinsumos incluem produtos, processos e tecnologias de origem biológica utilizados em atividades agropecuárias. Na agricultura, podem ser empregados com diferentes finalidades, como auxiliar a nutrição vegetal, favorecer o crescimento das plantas e contribuir para o manejo de determinados problemas fitossanitários. O Decreto nº 10.375/2020 instituiu o Programa Nacional de Bioinsumos e constitui uma referência institucional para o desenvolvimento desse setor no Brasil (BRASIL, 2020).

Entre os recursos estudados estão microrganismos que estabelecem relações com as plantas e podem participar de processos associados ao desenvolvimento vegetal. Algumas bactérias podem contribuir para a disponibilização de nutrientes ou produzir substâncias relacionadas ao crescimento. Fungos benéficos também podem interagir com as raízes e influenciar determinadas características das plantas. Entretanto, os mecanismos e os resultados variam conforme o organismo utilizado e as condições ambientais.

Sousa, Soares e Garrido (2009) avaliaram a inoculação e a incubação de substrato utilizado na produção de mudas de tomateiro com diferentes isolados de *Estreptomicetos*. Os autores observaram aumento na altura das plantas, na produção de massa seca da parte aérea e das raízes e no acúmulo de nutrientes em determinados tratamentos. O período de incubação também interferiu nas respostas, demonstrando que as condições de aplicação podem influenciar os resultados.

Outro grupo de interesse corresponde aos fungos *Micorrízicos arbusculares*, que podem estabelecer associações com as raízes das plantas. Dalanhol et al. (2017) analisaram os efeitos da inoculação, da fertilização e da composição do substrato sobre mudas de *Campomanesia xanthocarpa*. Os resultados indicaram que os efeitos da inoculação não foram uniformes em todas as condições avaliadas, enquanto a composição do substrato e a fertilização também influenciaram características do crescimento.

Essas pesquisas demonstram que a utilização de microrganismos benéficos deve ser avaliada de acordo com o objetivo de produção. A escolha do produto, a qualidade do inoculante, as condições de armazenamento e a forma de aplicação podem interferir em seu desempenho. Também é necessário considerar a compatibilidade entre o microrganismo, a espécie vegetal e o ambiente de cultivo.

Portanto, os bioinsumos podem constituir ferramentas complementares no manejo das mudas, mas sua utilização não deve ser entendida como uma solução universal. A eficiência precisa ser avaliada com base em estudos e recomendações técnicas que considerem as condições específicas de cada sistema produtivo.

2.4 Integração entre substratos orgânicos e bioinsumos

A integração de substratos orgânicos e bioinsumos constitui uma possibilidade para diversificar as práticas utilizadas na produção de mudas. Os substratos oferecem suporte físico às plantas e influenciam as condições de água, ar e nutrientes, enquanto os microrganismos podem participar de processos biológicos relacionados ao desenvolvimento vegetal. Quando os componentes são compatíveis, sua utilização conjunta pode contribuir para condições favoráveis de crescimento.

Entretanto, a associação entre materiais orgânicos e microrganismos precisa ser avaliada de maneira criteriosa. A composição do substrato pode favorecer ou limitar o estabelecimento dos organismos utilizados, assim como as condições de umidade, temperatura e acidez podem

influenciar sua atividade. Dessa forma, não se pode pressupor que a combinação de duas alternativas sustentáveis produzirá, necessariamente, um resultado superior.

Os estudos de Sousa, Soares e Garrido (2009) demonstram que as condições de inoculação e incubação do substrato podem influenciar a resposta das mudas de tomateiro. Já Dalanhol et al. (2017) evidenciam que a resposta à inoculação micorrízica pode variar conforme o substrato e a fertilização. Em conjunto, essas pesquisas reforçam a importância de avaliar os componentes do sistema produtivo de maneira integrada.

A utilização de materiais orgânicos também deve considerar a necessidade de complementação nutricional. Dependendo de sua composição, o substrato pode apresentar quantidades insuficientes ou excessivas de determinados nutrientes. Por isso, a substituição de fertilizantes minerais deve ser baseada na avaliação das necessidades das plantas e das características do material empregado.

Assim, a integração de substratos orgânicos e bioinsumos deve ser orientada por critérios agronômicos. Essa abordagem pode ampliar as alternativas disponíveis para os produtores, desde que sejam considerados os efeitos sobre o crescimento, a qualidade das mudas, a sanidade e a viabilidade de utilização.

2.5 Redução de insumos químicos: possibilidades e limitações

A redução da utilização de insumos químicos na produção de mudas deve ser compreendida como uma busca por maior eficiência no manejo, e não como a eliminação indiscriminada de todos os produtos convencionais. Fertilizantes minerais e produtos fitossanitários podem desempenhar funções importantes, e sua necessidade depende das condições de produção, da espécie cultivada e dos problemas identificados.

O aproveitamento de resíduos orgânicos pode contribuir para a obtenção de componentes destinados à formulação de substratos. Da Ros et al. (2015) demonstraram que determinados substratos compostados apresentaram resultados favoráveis em mudas florestais. Esse tipo de evidência indica que alguns materiais orgânicos podem substituir componentes convencionais em condições específicas, desde que sejam processados e utilizados adequadamente.

De maneira semelhante, a utilização de microrganismos benéficos pode contribuir para determinados processos relacionados ao crescimento e à nutrição das plantas. Entretanto, como demonstrado por Sousa, Soares e Garrido (2009) e Dalanhol et al. (2017), a resposta depende das

condições de aplicação e nem sempre é uniforme. Por esse motivo, os bioinsumos não devem ser considerados substitutos automáticos da fertilização ou de outros insumos necessários.

A redução de insumos também precisa considerar a qualidade final das mudas. Uma alternativa pode ser considerada adequada quando contribui para o desenvolvimento vegetal e apresenta condições de utilização compatíveis com o sistema produtivo. Caso a substituição comprometa a nutrição, o crescimento ou a sanidade das plantas, a prática poderá não trazer os benefícios esperados.

Além dos resultados agronômicos, a viabilidade econômica deve ser considerada. A disponibilidade de resíduos, os custos de processamento, o transporte, a mão de obra e a necessidade de equipamentos podem influenciar a adoção das alternativas. Assim, uma prática potencialmente sustentável precisa ser avaliada de acordo com as condições reais de produção.

Portanto, a redução da utilização de determinados insumos químicos deve ser orientada por evidências científicas, monitoramento e manejo adequado. A integração entre substratos orgânicos, bioinsumos e uso racional dos recursos representa uma possibilidade promissora, mas sua eficiência depende das características de cada sistema produtivo.

2.6 Controle de qualidade e segurança na utilização de substratos alternativos

A utilização de substratos alternativos na produção de mudas exige cuidados relacionados à qualidade e à segurança dos materiais empregados. Embora o aproveitamento de resíduos orgânicos represente uma possibilidade de diversificar os componentes utilizados nos viveiros, sua origem e seu processamento precisam ser considerados antes da incorporação às formulações. Materiais inadequadamente preparados podem apresentar características desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal, comprometendo o estabelecimento das mudas e reduzindo os benefícios esperados com a adoção dessas alternativas.

Nesse contexto, o processamento adequado dos resíduos constitui uma etapa importante para sua utilização. A compostagem, quando realizada sob condições apropriadas, contribui para a transformação da matéria orgânica e para a obtenção de materiais mais estáveis. Entretanto, o simples fato de um resíduo ter passado por algum processo de decomposição não garante que ele esteja adequado para uso na produção de mudas. É necessário considerar as características do produto final, sua origem e os possíveis riscos associados à presença de substâncias indesejáveis ou contaminantes.

Jorge et al. (2020) destacam a importância de considerar as características dos materiais e os critérios técnicos na escolha dos substratos utilizados para a produção de mudas de hortaliças. Essa avaliação é relevante porque materiais provenientes de diferentes fontes podem apresentar comportamentos distintos durante o cultivo. Por isso, a seleção de substratos alternativos deve considerar informações técnicas sobre sua composição e adequação à espécie cultivada, evitando a utilização de materiais apenas pela disponibilidade ou pelo baixo custo.

Tabela 1 – Principais critérios para avaliação de substratos alternativos na produção de mudas

Critério	Aspectos Avaliados	Importância Para a Produção
Origem do material	Tipo e procedência do resíduo	Identificar a composição e possíveis riscos
Processamento	Compostagem e grau de decomposição	Verificar a estabilidade e a adequação do material
Propriedades químicas	pH, salinidade e nutrientes	Avaliar a disponibilidade de nutrientes e a compatibilidade com a espécie
Propriedades físicas	Aeração, porosidade e retenção de água	Proporcionar condições adequadas ao desenvolvimento radicular
Segurança	Possíveis contaminantes e agentes prejudiciais	Reduzir riscos ao desenvolvimento das mudas
Desempenho vegetal	Crescimento, raízes e qualidade das mudas	Verificar a eficiência agronômica do substrato

Fonte: Elaborado pela autora com base em Jorge et al. (2020) e Da Ros et al. (2015).

Conforme apresentado na Tabela 1, a avaliação de substratos alternativos deve considerar um conjunto de características que determinam sua adequação à produção de mudas. A procedência dos materiais, o processamento, as propriedades físicas e químicas e o desempenho das plantas são aspectos complementares nesse processo. Dessa maneira, o aproveitamento de resíduos orgânicos pode contribuir para diversificar os componentes utilizados nos viveiros, desde que esteja associado ao controle de qualidade e à avaliação técnica dos materiais.

A segurança também deve ser considerada quando são utilizados materiais provenientes de atividades agroindustriais ou de sistemas de tratamento de resíduos. Nesses casos, a origem do material, o processamento realizado e o atendimento às exigências técnicas e legais aplicáveis precisam integrar a avaliação. O uso de resíduos sem a verificação de sua qualidade pode comprometer a produção e limitar a aplicação da alternativa em escala comercial. Dessa maneira, o aproveitamento de materiais orgânicos deve estar associado a procedimentos que permitam verificar sua adequação antes da utilização.

Outro aspecto importante consiste na padronização dos materiais utilizados. Diferenças na origem, na composição e no processamento dos resíduos podem modificar as características do substrato final, dificultando a reprodução dos resultados obtidos em pesquisas. Para os

viveiros, essa variabilidade pode representar um desafio, especialmente quando se busca manter um padrão de qualidade entre diferentes lotes de mudas. Por essa razão, a avaliação dos materiais e o acompanhamento das condições de produção são medidas importantes para aumentar a confiabilidade da utilização de substratos alternativos.

Além da qualidade do substrato, é necessário considerar o desempenho das mudas produzidas. A avaliação deve contemplar diferentes características das plantas, como desenvolvimento da parte aérea, formação das raízes e equilíbrio entre crescimento e estrutura vegetal. Esses indicadores auxiliam na identificação de possíveis limitações durante a produção e permitem verificar se o material utilizado atende às necessidades da espécie. Assim, a adequação de um substrato não deve ser determinada somente por sua origem orgânica, mas pelo conjunto de características que apresenta e pelos resultados obtidos durante o cultivo.

Portanto, o controle de qualidade e a segurança constituem aspectos fundamentais para a adoção de substratos alternativos na produção de mudas. O aproveitamento de resíduos orgânicos pode contribuir para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis, desde que seja acompanhado de avaliação técnica, processamento adequado e verificação do desempenho das plantas. Esses cuidados permitem reduzir os riscos associados à utilização dos materiais e contribuem para que as alternativas sustentáveis sejam incorporadas de maneira responsável aos sistemas de produção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa e caráter integrativo, desenvolvida com o objetivo de analisar alternativas sustentáveis aplicadas à produção de mudas, com ênfase no uso de substratos orgânicos, no aproveitamento de resíduos e na utilização de bioinsumos e microrganismos benéficos. A revisão integrativa foi adotada como orientação para reunir e comparar informações de estudos científicos e documentos técnicos relacionados ao tema, considerando os resultados apresentados, suas limitações e as possibilidades de aplicação na produção vegetal. Como referência metodológica, utilizou-se a discussão de Mendes, Silveira e Galvão (2008) sobre a organização de revisões integrativas.

O levantamento bibliográfico dirigido foi realizado em 19 de outubro de 2026, por meio de buscas na literatura científica e em fontes institucionais disponíveis na internet. Foram consultados registros e textos de periódicos científicos, incluindo a Scientific Electronic Library

Online (SciELO), publicações da Embrapa e páginas de revistas científicas com acesso aos resumos ou ao conteúdo dos trabalhos. Também foi consultado o portal oficial da legislação federal para localizar o Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, relacionado ao Programa Nacional de Bioinsumos.

As buscas utilizaram combinações de termos em português relacionados ao objeto de estudo, incluindo "produção de mudas", "substratos orgânicos", "substratos alternativos", "compostagem de resíduos orgânicos", "bioinsumos", "microrganismos benéficos", "inoculação" e "sustentabilidade na produção vegetal". A seleção priorizou publicações que apresentassem relação direta com a produção de mudas ou informações relevantes sobre as características de substratos, a utilização de resíduos orgânicos e os efeitos de microrganismos benéficos no desenvolvimento vegetal. Foram considerados estudos de diferentes anos, uma vez que pesquisas anteriores continuam relevantes para a compreensão dos efeitos dessas alternativas.

Foram excluídos materiais sem relação direta com o tema e registros que não apresentassem informações suficientes para identificar sua contribuição à discussão. A seleção foi orientada pela pertinência do título, do resumo e das informações disponíveis nas publicações consultadas. O conjunto utilizado para a síntese incluiu estudos experimentais sobre substratos orgânicos e microrganismos, uma publicação técnica da Embrapa sobre substratos para mudas e um documento legal relacionado aos bioinsumos. A análise considerou, ainda, uma publicação metodológica para fundamentar a organização da revisão.

A seleção das publicações ocorreu por meio da leitura dos títulos, resumos e, quando disponíveis, dos textos completos, buscando verificar a relação entre os objetivos de cada estudo e a temática desta pesquisa. Após essa etapa, foram considerados os trabalhos que apresentavam informações sobre a utilização de substratos orgânicos, o aproveitamento de resíduos, a aplicação de microrganismos benéficos ou a possibilidade de redução de determinados insumos utilizados na produção de mudas. Também foram observadas as características das espécies avaliadas, os materiais empregados e os resultados apresentados pelos autores, de modo a evitar a utilização de informações que não contribuíssem diretamente para responder à questão de pesquisa.

Para a interpretação dos resultados, procurou-se diferenciar os estudos que demonstraram melhorias no desenvolvimento das mudas daqueles que apresentaram evidências relacionadas à substituição ou à redução de insumos convencionais. Essa distinção foi

importante porque o aumento do crescimento vegetal, isoladamente, não comprova que houve redução da quantidade de fertilizantes ou de outros produtos utilizados. Dessa forma, a análise considerou o alcance das evidências apresentadas em cada publicação, bem como as limitações identificadas pelos próprios autores.

As informações foram organizadas qualitativamente, considerando os autores, o ano de publicação, a espécie vegetal estudada, a alternativa investigada e os principais resultados relatados. A interpretação foi estruturada em três eixos: utilização de substratos orgânicos e aproveitamento de resíduos; aplicação de microrganismos benéficos e bioinsumos; e possibilidades e limitações da integração dessas alternativas para a redução da utilização de determinados insumos convencionais.

A discussão foi desenvolvida por comparação entre os resultados descritos nas publicações, buscando identificar convergências, diferenças e condições que pudessem explicar respostas distintas. Como se trata de uma pesquisa bibliográfica, não foram realizados experimentos de campo, ensaios laboratoriais ou coleta de dados primários. As conclusões foram limitadas às informações encontradas nas fontes consultadas, considerando que os resultados de estudos conduzidos com determinadas espécies e condições de cultivo não podem ser automaticamente generalizados para todos os sistemas de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Síntese dos estudos identificados

A literatura consultada apresenta resultados que indicam possibilidades de utilização de substratos orgânicos, resíduos processados e microrganismos benéficos na produção de mudas. Entretanto, os efeitos observados variam conforme a espécie vegetal, as características dos materiais empregados, a disponibilidade de nutrientes e as condições de cultivo. Para compreender essas diferenças, foram considerados estudos que avaliaram substratos compostados, biomassa vegetal decomposta, biossólido e inoculação com microrganismos.

Os trabalhos analisados apresentam objetivos distintos e contribuem de diferentes maneiras para a compreensão das alternativas sustentáveis na produção de mudas. Da Ros et al. (2015), Oliveira et al. (2017), Abreu et al. (2018), Balbino et al. (2024) e Conceição et al. (2024) investigaram materiais orgânicos, substratos alternativos ou combinações de componentes utilizados na produção vegetal. Sousa, Soares e Garrido (2009), Dalanhol et al. (2017), Freire et al. (2017) e Silva et al. (2022) avaliaram a participação de microrganismos ou sua associação com

diferentes materiais e condições de cultivo. Complementarmente, *Fasusi*, *Babalola* e *Adejumo* (2023) discutiram o potencial de bactérias promotoras do crescimento e fungos micorrízicos em sistemas agrícolas, enquanto Kondo et al. (2026) reuniram resultados de pesquisas sobre associações entre microrganismos e mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica. Em conjunto, essas publicações permitem discutir tanto as possibilidades de utilização das alternativas sustentáveis quanto os limites das evidências disponíveis sobre a redução de insumos químicos.

Em conjunto, essas publicações permitem discutir duas possibilidades principais: a utilização de materiais orgânicos como componentes de substratos e o emprego de microrganismos como ferramentas complementares de manejo. Os resultados, contudo, não são uniformes e devem ser interpretados considerando o objetivo e as condições de cada estudo.

Tabela 2 – Síntese dos estudos sobre alternativas sustentáveis na produção de mudas

Autores/Ano	Material e alternativa avaliada	Principal contribuição	Relação com a redução de insumos
Da Ros et al. (2015)	Eucalipto e outras espécies; substratos compostados	Resultados favoráveis no desenvolvimento das mudas	Não comprova redução de fertilizantes
Sousa et al. (2009)	Tomateiro; substrato inoculado	Avaliação do efeito de microrganismos	Não comprova redução de fertilizantes
Dalanhol et al. (2017)	Guabirobeira; micorrizas	Avaliação do efeito de microrganismos	Não comprova substituição de adubação
Freire et al. (2017)	Maricá; inoculação com rizóbio	Resposta variáveis conforme o substrato	Não comprova redução direta
Abreu et al. (2018)	Aroeira; biossólido	Potencial de uso como componente do substrato	Possibilidade de reduzir adubação complementar
Oliveira et al. (2017)	Mulugu; substratos organominerais	Influência da composição no crescimento	Não comprova substituição de fertilizantes
Silva et al. (2022)	Baru; lodo compostado e microrganismos	Avaliação do desenvolvimento inicial	Não quantifica redução de insumos
Fasusi et al. (2023)	Sistemas agrícolas; bactérias e fungos	Potencial dos microrganismos benéficos	Revisão sem comprovação direta em mudas
Balbino et al. (2024)	Café; substratos alternativos	Avaliação de materiais para mudas clonais	Não comprova substituição de fertilizantes
Conceição et al. (2024)	Substratos orgânicos; biomassa de palmeiras	Avaliação de materiais alternativos	Não comprova substituição de insumos
Kondo et al. (2026)	Mudas arbóreas; microrganismos promotores	Síntese de estudos sobre crescimento	Não quantifica redução de fertilizantes

Fonte: Elaborado pela autora com base nos estudos citados (2009–2026).

A síntese apresentada na Tabela 2 evidencia que as alternativas sustentáveis investigadas na literatura abrangem diferentes possibilidades de manejo, desde o aproveitamento de resíduos orgânicos até a utilização de microrganismos benéficos. Embora os estudos apresentem resultados favoráveis em determinadas condições, também demonstram que a eficiência dessas

alternativas depende das características dos materiais, da espécie cultivada e das condições de produção. Observa-se, portanto, que a utilização de substratos alternativos e bioinsumos deve ser fundamentada em avaliações específicas, considerando tanto os benefícios identificados quanto as limitações de cada estratégia.

A comparação entre os estudos permite distinguir evidências de naturezas diferentes sobre a utilização de alternativas sustentáveis na produção de mudas. Da Ros et al. (2015), Abreu et al. (2018) e Balbino et al. (2024) avaliaram materiais orgânicos empregados na composição de substratos e identificaram possibilidades de utilização em condições específicas de produção. Conceição et al. (2024), por sua vez, contribuíram para essa discussão por meio da caracterização de materiais alternativos, destacando a importância de conhecer suas propriedades antes de recomendá-los para o cultivo. Já os estudos de Sousa, Soares e Garrido (2009), Dalanhol et al. (2017) e Freire et al. (2017) demonstram que a resposta à utilização de microrganismos pode variar conforme a espécie vegetal, o substrato e as condições de aplicação. Em conjunto, essas evidências indicam que as alternativas sustentáveis devem ser avaliadas de acordo com suas características e com a finalidade de uso. Também é necessário distinguir a identificação de um material promissor ou de uma resposta favorável no crescimento das mudas da comprovação de uma redução efetiva no consumo de insumos químicos, que depende de comparações específicas entre os tratamentos e das quantidades de insumos utilizadas.

4.2 Substratos orgânicos e aproveitamento de resíduos

O aproveitamento de resíduos orgânicos na produção de mudas pode ampliar as opções de materiais utilizados em viveiros e reduzir a dependência de determinados componentes comerciais. Essa possibilidade, entretanto, depende da composição e do processamento dos resíduos, além das características físicas e químicas necessárias ao desenvolvimento das plantas.

Da Ros et al. (2015) avaliaram substratos provenientes da compostagem de diferentes resíduos orgânicos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. Os resultados demonstraram que os substratos elaborados com resíduos de restaurante universitário e lodo do processo de flotação apresentaram resultados favoráveis para altura e diâmetro do colo das mudas. Os autores apontaram a possibilidade de utilização desses materiais como alternativas ao substrato comercial avaliado. Entretanto, o próprio estudo também demonstrou que o crescimento variou conforme a espécie e que a fertilização mineral influenciou o desempenho

das plantas. Assim, os resultados não sustentam a afirmação de que todos os resíduos compostados substituem integralmente os substratos comerciais ou os fertilizantes.

Em estudo com outra espécie florestal, Abreu et al. (2018) compararam mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) produzidas com biossólido e com substrato comercial, considerando diferentes doses de fertilização de cobertura. Os autores observaram que o biossólido favoreceu o crescimento das mudas em viveiro, inclusive sem fertilização mineral complementar nas condições avaliadas. Esse resultado demonstra o potencial de determinados materiais orgânicos, mas sua utilização depende de controle de qualidade, processamento adequado e atendimento às exigências técnicas e legais aplicáveis ao material empregado.

Conceição et al. (2024), por sua vez, avaliaram as características físico-químicas de substratos à base de biomassa decomposta de babaçu, carnaúba e buriti, comparando-os com um substrato comercial. Os resultados indicaram que os materiais derivados de babaçu e carnaúba apresentaram características promissoras, com valores de pH e nutrientes considerados adequados pelos autores. Como o estudo se concentrou na caracterização dos materiais, seus resultados sustentam a possibilidade de uso como substratos alternativos, mas não devem ser interpretados, isoladamente, como comprovação de superioridade no crescimento de mudas em todas as espécies.

A publicação técnica de Jorge et al. (2020), da Embrapa Hortaliças, complementa esses estudos ao destacar a importância de conhecer os materiais utilizados na formulação de substratos e suas recomendações de uso. Propriedades como retenção de água, aeração, pH e disponibilidade de nutrientes precisam ser consideradas para que o material ofereça condições adequadas ao desenvolvimento radicular.

Outro aspecto importante na avaliação de substratos alternativos é a possibilidade de combinar diferentes resíduos para melhorar as condições de desenvolvimento das mudas. Balbino et al. (2024) investigaram o uso de casca de café, capim-elefante e bagaço de cana-de-açúcar, empregados isoladamente ou em misturas, na produção de mudas clonais de *Coffea canephora*. Os autores avaliaram as características dos materiais e observaram diferenças nas propriedades físicas e químicas dos substratos, demonstrando que a escolha dos componentes pode influenciar as condições oferecidas ao desenvolvimento das plantas. Os resultados indicam que resíduos agroindustriais podem apresentar potencial de utilização, desde que sejam consideradas suas características e a proporção empregada nas formulações.

Esses resultados demonstram que a utilização de resíduos não depende apenas de sua disponibilidade ou de sua origem orgânica, mas também das características que apresentam quando utilizados como componentes do substrato. A mistura entre materiais pode contribuir para equilibrar propriedades que, isoladamente, seriam inadequadas para o desenvolvimento radicular. Entretanto, essa possibilidade precisa ser avaliada considerando a proporção dos componentes, a espécie cultivada e as condições de produção. Dessa forma, a substituição de um substrato comercial por uma formulação alternativa deve ser fundamentada em avaliações técnicas, evitando que a redução de custos ou o aproveitamento de resíduos comprometam a qualidade das mudas.

Em uma perspectiva semelhante, Oliveira et al. (2017) avaliaram diferentes substratos organominerais na produção de mudas de *Erythrina* velutina. A pesquisa demonstrou que a composição do substrato influenciou características relacionadas ao crescimento das plantas. Entre os tratamentos avaliados, a combinação de componentes minerais, micronutrientes e esterco bovino curtido apresentou resultados favoráveis para a produção das mudas. Esse resultado evidencia que a incorporação de matéria orgânica pode contribuir para a formação de substratos adequados, mas também demonstra que o desempenho das plantas depende da interação entre os componentes orgânicos e minerais.

A contribuição desse estudo para a discussão sobre a redução de insumos químicos está justamente em demonstrar que a utilização de materiais orgânicos pode ocorrer em associação com componentes minerais, conforme as necessidades nutricionais das mudas. Portanto, embora a matéria orgânica possa participar da composição de substratos e contribuir para o desenvolvimento vegetal, não é adequado interpretar esse resultado como comprovação de substituição dos fertilizantes minerais. A pesquisa reforça a importância de avaliar a composição final do substrato e a necessidade de complementação nutricional, considerando os resultados obtidos para cada espécie.

A análise conjunta desses estudos reforça que as alternativas sustentáveis não devem ser compreendidas necessariamente como a eliminação de todos os insumos convencionais. Em determinadas situações, a combinação de resíduos orgânicos com componentes minerais pode permitir o aproveitamento de materiais disponíveis e, ao mesmo tempo, atender às necessidades nutricionais das plantas. O objetivo, portanto, consiste em identificar formulações eficientes, seguras e tecnicamente adequadas, capazes de reduzir o uso desnecessário de determinados insumos sem prejudicar o crescimento e a qualidade das mudas.

Além disso, a adoção de substratos alternativos exige atenção à padronização dos materiais utilizados. Resíduos provenientes de diferentes origens podem apresentar variações em sua composição, o que interfere na disponibilidade de nutrientes, na retenção de água e na aeração. Por esse motivo, a caracterização físico-química, o processamento adequado e a realização de avaliações específicas são medidas importantes para aumentar a segurança de utilização desses materiais. Assim, o aproveitamento de resíduos representa uma possibilidade relevante para a produção sustentável de mudas, desde que esteja associado ao controle de qualidade e ao conhecimento das exigências da espécie cultivada.

A comparação desses trabalhos evidencia que o aproveitamento de resíduos pode contribuir para diversificar os substratos disponíveis, mas sua utilização não deve ocorrer apenas pela origem orgânica ou pela disponibilidade regional. A caracterização do material, o processamento e a avaliação de sua adequação à espécie cultivada são etapas importantes para evitar problemas relacionados à salinidade, à disponibilidade de nutrientes ou a outras características que possam comprometer a qualidade das mudas.

4.3 Bioinsumos e microrganismos benéficos

Os microrganismos benéficos constituem uma das alternativas investigadas para complementar o manejo na produção de mudas. Determinadas bactérias e fungos podem participar de processos relacionados à nutrição e ao crescimento vegetal. Contudo, a resposta depende da interação entre o organismo utilizado, a espécie vegetal, o substrato e as condições ambientais.

Sousa, Soares e Garrido (2009) avaliaram a inoculação e a incubação de substrato utilizado na produção de mudas de tomateiro com diferentes isolados de *Estreptomicetos*. Os autores observaram que determinados tratamentos favoreceram a altura das plantas, a produção de massa seca da parte aérea e das raízes e o acúmulo de nutrientes. O período de incubação também influenciou as respostas.

Esses resultados indicam que microrganismos específicos podem contribuir para o desenvolvimento das mudas quando utilizados em condições apropriadas, mas não demonstram que qualquer inoculante produza efeitos semelhantes.

Dalanhol et al. (2017) estudaram mudas de *Campomanesia xanthocarpa* produzidas em diferentes substratos, avaliando os efeitos de micorrizas e fertilização. A pesquisa mostrou que o crescimento foi influenciado pela composição do substrato e pelas condições de fertilização, e

que os efeitos da inoculação não foram uniformes entre os tratamentos. Esse resultado evidencia que a utilização de microrganismos precisa ser analisada em conjunto com os demais componentes do sistema de produção.

De maneira semelhante, Freire et al. (2017) avaliaram mudas de *Mimosa bimucronata* inoculadas com estirpes de rizóbio em diferentes substratos. Os substratos organominerais favoreceram o desenvolvimento das mudas, mas o desempenho das plantas inoculadas não superou o observado no tratamento com nitrogênio mineral. Esse resultado é relevante porque demonstra que a inoculação não substitui automaticamente a fertilização e que sua eficiência depende das condições de cultivo e da combinação entre substrato e microrganismo.

A comparação entre os estudos de Sousa, Soares e Garrido (2009), Dalanhol et al. (2017) e Freire et al. (2017) indica que os microrganismos podem contribuir para características específicas do desenvolvimento vegetal, mas os resultados variam conforme a espécie e as condições de aplicação. Portanto, a adoção de bioinsumos deve considerar a qualidade do produto, a compatibilidade com a planta, o manejo do substrato e as recomendações técnicas. A simples presença de um microrganismo benéfico não garante, por si só, aumento do crescimento ou redução da necessidade de fertilizantes.

Além dos estudos já apresentados, pesquisas mais recentes reforçam a importância de avaliar a interação entre os microrganismos utilizados e as condições de desenvolvimento das mudas. Silva et al. (2022) investigaram o uso de microrganismos associado à aplicação de lodo de esgoto compostado no desenvolvimento inicial de mudas de baru (*Dipteryx alata*). O estudo avaliou a utilização de *Bacillus subtilis* e de fungos *Micorrízicos arbusculares*, isoladamente e em combinação, considerando também a presença do material orgânico. Essa abordagem é relevante porque permite analisar os efeitos dos componentes biológicos em conjunto com uma fonte de nutrientes de origem orgânica, em vez de considerar cada alternativa separadamente.

A análise desse tipo de pesquisa contribui para compreender que a eficiência dos bioinsumos não depende apenas da escolha do microrganismo, mas também das condições em que ele é introduzido no sistema de produção. A composição do substrato, a disponibilidade de nutrientes e as características da espécie cultivada podem influenciar a resposta das plantas. Dessa forma, a associação entre materiais orgânicos e microrganismos deve ser avaliada de acordo com os objetivos de produção e com as necessidades específicas das mudas, sem pressupor que a combinação dos recursos resultará necessariamente em benefícios adicionais.

Essa interpretação também é sustentada pela revisão de *Fasusi, Babalola* e *Adejumo* (2023), que discute a participação de bactérias promotoras do crescimento vegetal e de fungos *Micorrízicos arbusculares* em processos relacionados à nutrição e ao desenvolvimento das plantas. Os autores destacam o potencial desses organismos para contribuir com sistemas agrícolas mais sustentáveis, embora sua utilização dependa das interações biológicas e das condições ambientais. Assim, os microrganismos representam uma ferramenta complementar de manejo, cuja eficiência precisa ser verificada em cada contexto produtivo.

Uma evidência adicional é apresentada por Kondo et al. (2026), que reuniram resultados de 60 estudos sobre a inoculação de mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica com microrganismos promotores do crescimento vegetal. A metanálise identificou respostas favoráveis em determinadas combinações entre microrganismos e grupos de espécies, especialmente com fungos *micorrízicos arbusculares* em algumas condições. Entretanto, os resultados também variaram conforme as características das plantas e as condições experimentais. Essa constatação reforça a importância de selecionar os inoculantes de acordo com a espécie e o sistema de produção, em vez de adotar um mesmo produto como solução universal.

Diante dessas evidências, a utilização de bioinsumos na produção de mudas deve envolver a escolha adequada do microrganismo, a verificação da qualidade do produto e o respeito às condições recomendadas de armazenamento e aplicação. Também é necessário avaliar o desenvolvimento das plantas após a inoculação, considerando diferentes indicadores de qualidade. Portanto, embora os bioinsumos apresentem potencial para contribuir com a sustentabilidade, sua adoção deve estar fundamentada em resultados científicos e em critérios técnicos que permitam identificar em quais condições esses recursos oferecem benefícios efetivos.

4.4 Integração das alternativas e redução de insumos químicos

A integração entre substratos orgânicos e bioinsumos representa uma possibilidade de ampliar as estratégias de manejo sustentável na produção de mudas. Os materiais utilizados na composição dos substratos influenciam diretamente as condições físicas e químicas do ambiente radicular, enquanto os microrganismos benéficos podem participar de processos relacionados à nutrição e ao desenvolvimento vegetal. Entretanto, a utilização conjunta dessas alternativas não garante, necessariamente, resultados superiores aos obtidos por meio dos sistemas

convencionais, uma vez que sua eficiência depende das características dos materiais empregados, da espécie cultivada e das condições de produção.

Os resultados apresentados por Da Ros et al. (2015) demonstram que determinados resíduos orgânicos, após processo de compostagem, podem ser utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas florestais. Os autores identificaram respostas favoráveis em características de crescimento das espécies avaliadas, embora também tenham observado diferenças relacionadas à composição dos substratos e às necessidades de cada espécie. Dessa forma, o estudo contribui para demonstrar a possibilidade de aproveitamento de resíduos orgânicos, mas não permite afirmar que sua utilização resulte, em todas as situações, na eliminação da necessidade de fertilização mineral.

Uma evidência mais direta relacionada à redução da fertilização complementar foi apresentada por Abreu et al. (2018), que avaliaram a produção de mudas de aroeira-pimenteira utilizando biossólido e substrato comercial, submetidos a diferentes condições de adubação de cobertura. Os resultados demonstraram que o biossólido favoreceu o crescimento das mudas em viveiro, inclusive sem a aplicação de fertilização mineral complementar, apresentando qualidade morfológica superior à observada em mudas produzidas com substrato comercial e adubação de cobertura. Esse resultado indica que determinados materiais orgânicos podem contribuir para o fornecimento de nutrientes e reduzir a necessidade de complementação mineral, desde que sejam consideradas as características do material e as condições específicas de utilização.

Em contrapartida, os resultados de Freire et al. (2017) demonstram que a utilização de microrganismos não representa, necessariamente, uma alternativa capaz de substituir a fertilização mineral. Ao avaliarem mudas de *Mimosa bimucronata* inoculadas com estirpes de rizóbio em diferentes substratos, os autores verificaram que o desempenho das plantas inoculadas não superou aquele observado no tratamento com nitrogênio mineral. Essa constatação evidencia que, embora a inoculação possa participar de estratégias de manejo sustentável, sua eficiência depende da compatibilidade entre o microrganismo, a espécie vegetal e as condições de cultivo. Portanto, não é adequado considerar a utilização de bioinsumos como uma substituição automática dos fertilizantes convencionais.

Outro aspecto importante está relacionado à diferença entre a substituição de componentes comerciais de substratos e a redução efetiva de insumos químicos. Balbino et al. (2024), ao investigarem resíduos agroindustriais na produção de mudas clonais de *Coffea*

canephora, demonstraram que materiais como casca de café, capim-elefante e bagaço de cana-de-açúcar apresentam características que podem favorecer sua utilização em formulações alternativas. De maneira semelhante, Conceição et al. (2024) identificaram características físico-químicas promissoras em substratos elaborados com biomassa decomposta de babaçu e carnaúba. Apesar da contribuição desses estudos para o aproveitamento de materiais orgânicos, seus resultados não devem ser interpretados como comprovação direta da redução da fertilização mineral, pois essa não foi a finalidade principal das avaliações realizadas.

A utilização conjunta de materiais orgânicos e microrganismos também merece atenção, pois a disponibilidade de nutrientes no substrato pode influenciar a resposta das plantas à inoculação. Silva et al. (2022), ao estudarem mudas de baru, avaliaram a utilização de lodo de esgoto compostado associado a diferentes tratamentos microbiológicos, incluindo *Bacillus subtilis* e fungos *Micorrízicos arbusculares*. Os resultados contribuíram para demonstrar que a interação entre recursos orgânicos e biológicos pode influenciar o desenvolvimento inicial das mudas. Entretanto, por se tratar de uma avaliação conduzida com uma espécie específica e em condições experimentais determinadas, não é possível generalizar seus resultados para todos os sistemas de produção ou afirmar que essa associação dispense a utilização de fertilizantes.

Diante dessas evidências, observa-se que a contribuição das alternativas sustentáveis para a redução de insumos químicos precisa ser analisada de acordo com o tipo de recurso utilizado e com os resultados efetivamente apresentados em cada pesquisa. A substituição de parte de um substrato comercial por resíduos orgânicos pode representar uma forma de reduzir a dependência de determinados componentes convencionais, enquanto a utilização de biossólidos pode contribuir para o fornecimento de nutrientes e diminuir a necessidade de fertilização complementar em situações específicas. Por outro lado, a inoculação com microrganismos pode favorecer determinadas características do desenvolvimento vegetal, mas não comprova, isoladamente, a possibilidade de eliminar a adubação mineral.

Para que a redução de insumos químicos seja comprovada de maneira mais consistente, torna-se necessário que os estudos apresentem comparações entre diferentes condições de manejo, considerando as quantidades de fertilizantes ou outros produtos utilizados, a qualidade das mudas obtidas e os resultados alcançados ao longo do período de produção. Também é importante avaliar os custos envolvidos, a disponibilidade dos materiais alternativos e a necessidade de tratamentos complementares. Essas informações permitem verificar se a

substituição parcial de determinados insumos é tecnicamente viável e se proporciona benefícios sem comprometer o desenvolvimento das plantas.

Assim, a integração entre substratos orgânicos, bioinsumos e microrganismos benéficos deve ser compreendida como uma estratégia complementar para o desenvolvimento de sistemas mais sustentáveis de produção de mudas. Os estudos analisados demonstram possibilidades relevantes de aproveitamento de resíduos, melhoria das condições de cultivo e utilização de recursos biológicos. Contudo, também evidenciam que a redução efetiva de insumos químicos ainda depende de avaliações específicas e de resultados que comprovem essa diminuição em condições comparáveis de produção. Portanto, a adoção dessas alternativas deve ser orientada por critérios técnicos e científicos, buscando conciliar a eficiência do manejo, a qualidade das mudas e a conservação dos recursos naturais.

4.5 Limitações e perspectivas para a produção sustentável de mudas

Apesar dos benefícios associados à utilização de substratos orgânicos e bioinsumos, sua aplicação na produção de mudas ainda apresenta algumas limitações que precisam ser consideradas. Entre os principais desafios estão a variabilidade na composição dos materiais orgânicos, a necessidade de padronização dos processos de preparo e a adequação das alternativas às exigências específicas de cada espécie vegetal. Diferentemente dos substratos comerciais formulados, que geralmente apresentam características mais uniformes, os materiais provenientes de resíduos agroindustriais e de outras fontes orgânicas podem apresentar diferenças em relação à disponibilidade de nutrientes, ao pH, à salinidade, à porosidade e à capacidade de retenção de água. Essas variações podem interferir diretamente no desenvolvimento das plantas e comprometer a uniformidade dos lotes produzidos.

Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos orgânicos deve estar associado a procedimentos adequados de seleção, processamento e avaliação dos materiais. A utilização de resíduos sem o devido tratamento pode ocasionar problemas relacionados à presença de compostos fitotóxicos, excesso de sais, desequilíbrios nutricionais ou até mesmo contaminantes que prejudiquem o desenvolvimento das mudas. Dessa forma, embora esses materiais representem uma possibilidade de redução dos custos e de aproveitamento de recursos disponíveis, sua utilização não deve ocorrer de maneira indiscriminada. É necessário considerar a origem dos resíduos, suas características físicas e químicas e a compatibilidade com as

necessidades da espécie cultivada, garantindo condições adequadas para o desenvolvimento radicular e da parte aérea.

Outro aspecto importante está relacionado à utilização de bioinsumos e microrganismos benéficos. Embora diferentes estudos apontem contribuições desses organismos para o desenvolvimento vegetal, seus efeitos podem variar conforme a espécie, as condições ambientais, o tipo de substrato e a interação estabelecida com as raízes. A eficiência dos inoculantes também depende da qualidade do produto, da viabilidade dos microrganismos e das condições de armazenamento e aplicação. Assim, a utilização desses recursos exige conhecimento técnico e acompanhamento das respostas das plantas, uma vez que a simples aplicação de um produto biológico não garante, isoladamente, resultados positivos em todas as situações de cultivo.

Além disso, a substituição de determinados insumos químicos por alternativas biológicas e orgânicas deve ser compreendida como um processo gradual e tecnicamente orientado. Os substratos orgânicos e os bioinsumos podem contribuir para melhorar as condições de desenvolvimento das mudas e reduzir a necessidade de determinados produtos, mas não devem ser considerados substitutos universais de todos os fertilizantes ou demais insumos utilizados nos viveiros. A necessidade de complementação nutricional, por exemplo, deve ser definida de acordo com as características do substrato, as exigências da espécie e o estágio de desenvolvimento das plantas. Portanto, o manejo sustentável depende da integração entre diferentes práticas, buscando equilíbrio entre nutrição, sanidade, qualidade do substrato e desenvolvimento vegetal.

Também é importante considerar que a qualidade das mudas não deve ser avaliada somente durante sua permanência no viveiro. O desenvolvimento inicial das plantas, embora seja um indicador relevante, não representa necessariamente seu desempenho após o transplantio para o local definitivo. Características como formação do sistema radicular, vigor da parte aérea, equilíbrio entre raízes e folhas e capacidade de adaptação às condições ambientais podem influenciar o estabelecimento das mudas. Dessa maneira, as alternativas sustentáveis utilizadas durante a produção precisam ser avaliadas considerando não apenas o crescimento inicial, mas também a capacidade de sobrevivência e o desenvolvimento das plantas após o transplantio.

Essa perspectiva amplia a importância das pesquisas relacionadas à produção sustentável de mudas, pois permite compreender se os benefícios observados durante a fase de viveiro

permanecem nas etapas posteriores do cultivo. Estudos futuros podem aprofundar a comparação entre diferentes formulações de substratos orgânicos, concentrações de bioinsumos e formas de aplicação, considerando indicadores de crescimento, qualidade morfológica, desenvolvimento radicular e sobrevivência após o transplantio. Também são necessárias avaliações relacionadas à viabilidade econômica dessas alternativas, considerando os custos de obtenção e processamento dos resíduos, aquisição dos produtos biológicos, mão de obra e possíveis reduções na utilização de insumos convencionais.

Por fim, a consolidação de práticas sustentáveis na produção de mudas depende da associação entre conhecimento científico, planejamento técnico e adequação às condições de cada sistema produtivo. O aproveitamento de resíduos orgânicos e a utilização de microrganismos benéficos apresentam possibilidades importantes para diversificar os métodos de produção e favorecer o uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Entretanto, a adoção dessas alternativas deve estar fundamentada em avaliações que considerem suas vantagens e limitações, evitando generalizações quanto à sua eficiência. Assim, a produção sustentável de mudas deve ser entendida como uma estratégia integrada, na qual a redução de determinados insumos químicos esteja associada à manutenção da qualidade das plantas, à segurança dos materiais utilizados e à viabilidade das práticas adotadas.

Figura 2 – Manejo de mudas de pimenta-do-reino em viveiro



Fonte: Rosa (2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo sistematizar e analisar a produção científica sobre alternativas sustentáveis na produção de mudas, com ênfase na redução do uso de insumos químicos e na utilização de bioinsumos, microrganismos benéficos e substratos orgânicos. A análise da literatura permitiu compreender que essas alternativas apresentam potencial para contribuir com o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, especialmente por meio do aproveitamento de resíduos orgânicos, da melhoria das condições de desenvolvimento das plantas e da utilização de recursos biológicos. Nesse contexto, os substratos orgânicos podem representar uma possibilidade de aproveitamento de materiais disponíveis e de redução da dependência de determinados componentes utilizados na produção convencional, desde que apresentem características adequadas às necessidades das espécies cultivadas. Da mesma forma, os bioinsumos e os microrganismos benéficos podem favorecer processos relacionados à nutrição e ao crescimento vegetal, contribuindo para o manejo das mudas. Entretanto, os estudos analisados demonstram que os resultados dependem de fatores como a composição dos substratos, a espécie vegetal, o microrganismo empregado e as condições de cultivo. Assim, o objetivo proposto foi atendido ao reunir e discutir evidências científicas que demonstram tanto as possibilidades de utilização dessas alternativas quanto os aspectos que precisam ser considerados para sua aplicação.

Verificou-se, ainda, que a adoção de práticas sustentáveis na produção de mudas deve ser fundamentada em avaliações técnicas e científicas, uma vez que a utilização de substratos alternativos e bioinsumos não garante, por si só, a substituição completa dos insumos químicos. Os estudos consultados apresentam respostas distintas, indicando que determinados materiais orgânicos podem favorecer o crescimento das mudas, enquanto outros podem apresentar limitações relacionadas às suas características físicas, químicas ou biológicas. De maneira semelhante, a inoculação com microrganismos benéficos pode proporcionar resultados positivos em algumas condições, mas sua eficiência não é uniforme para todas as espécies e sistemas de produção. Dessa forma, a redução do uso de insumos químicos deve ser compreendida como uma estratégia de manejo que busca aumentar a eficiência dos recursos empregados, e não como uma substituição indiscriminada de produtos utilizados na produção convencional. Também é importante considerar a qualidade e a disponibilidade dos materiais alternativos, a necessidade de tratamento adequado dos resíduos orgânicos, a compatibilidade entre os microrganismos e as plantas e a viabilidade econômica das práticas adotadas. Esses aspectos reforçam a

importância de selecionar as alternativas de acordo com as características de cada sistema produtivo, buscando conciliar a qualidade das mudas, a eficiência do manejo e a conservação ambiental.

Conclui-se, portanto, que os substratos orgânicos, os bioinsumos e os microrganismos benéficos constituem alternativas promissoras para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na produção de mudas, embora sua eficiência dependa das condições de utilização e de uma avaliação criteriosa dos resultados. A contribuição dessas estratégias está relacionada à possibilidade de aproveitar recursos orgânicos, favorecer processos biológicos e melhorar o uso dos insumos disponíveis, contribuindo para sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Entretanto, a literatura analisada também evidencia a necessidade de ampliar os estudos sobre a aplicação dessas alternativas em diferentes espécies vegetais, a padronização das condições de utilização, a avaliação dos custos de produção e a comparação dos resultados com os sistemas convencionais. Pesquisas futuras poderão aprofundar a compreensão sobre quais combinações de substratos, bioinsumos e práticas de manejo apresentam melhores resultados, bem como avaliar em que condições é possível reduzir efetivamente a utilização de determinados insumos químicos sem comprometer a qualidade e o desenvolvimento das mudas. Por se tratar de uma pesquisa bibliográfica, este trabalho não permite estabelecer uma recomendação única para todos os sistemas de produção, mas contribui para organizar o conhecimento disponível e destacar possibilidades que merecem atenção técnica e científica. Dessa maneira, o uso consciente dessas alternativas pode favorecer o avanço de sistemas de produção de mudas mais sustentáveis, desde que sua adoção seja orientada por evidências científicas e adaptada às necessidades de cada cultura.

REFERÊNCIAS

ABREU, Alan Henrique Marques de; OLIVEIRA, Ricardo Rodrigues de; ABEL, Elton Luis da Silva; LIMA FILHO, Pedro; LELES, Paulo Sérgio dos Santos. Biossólido e substrato comercial na produção de mudas de Schinus terebinthifolia. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 38, e201501066, 2018. DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201501066.

BALBINO, Tony José; ESPINDULA, Marcelo Curitiba; TAVELLA, Leonardo Barreto; TEIXEIRA, Richelly Gisela Pasqualotto; BRAVIN, Núbia Pinto; DIAS, Jairo Rafael Machado; BRAVIN, Maísa Pinto. Substratos alternativos para produção de mudas clonais de Coffea canephora. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 59, e03538, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03538.

BITTAR, Ana Cristina. Semeadura de mudas em bandejas. [Fotografia]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-imagens.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 maio 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm.

CONCEIÇÃO, Aldenice O. et al. Novos substratos orgânicos para a produção de mudas na zona de transição entre os biomas Amazônia-Cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 28, n. 6, e279358, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n6e279358.

DA ROS, Clovis Orlando; REX, Franciel Eduardo; RIBEIRO, Isadora Rangel; KAFER, Pâmela Suélen; RODRIGUES, Alexandre Couto; SILVA, Rodrigo Ferreira da; SOMAVILLA, Lucindo. Uso de substrato compostado na produção de mudas de Eucalyptus dunnii e Cordia trichotoma. Floresta e Ambiente, v. 22, n. 4, p. 549–558, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.115714.

DALANHOL, Samanta Jaqueline; NOGUEIRA, Antonio Carlos; GAIAD, Sergio; KRATZ, Dagma. Efeito de micorrizas e da fertilização no crescimento de mudas de Campomanesia xanthocarpa (Mart.) O. Berg., produzidas em diferentes substratos. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 931–945, 2017. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509828665.

FASUSI, Oluwaseun Adeyinka; BABALOLA, Olubukola Oluranti; ADEJUMO, Timothy Olubisi. Harnessing of plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystem sustainability. CABI Agriculture and Bioscience, v. 4, art. 26, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s43170-023-00168-0.

FREIRE, Juliana Müller; JESUS, Ederson da Conceição; ROUWS, Janaína Ribeiro Costa; FARIA, Sérgio Miana de; ZILLI, Jerri Edson. Efeito do substrato sobre o crescimento de mudas de Mimosa bimucronata inoculadas com estirpes de rizóbio. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 37, n. 90, p. 131–138, 2017. DOI: https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.90.1132.

JORGE, M. H. A.; MELO, R. A. de C. e; RESENDE, F. V.; COSTA, E.; SILVA, J. da; GUEDES, I. M. R. Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. 30 p. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 180). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1125796.

KONDO, Yanka R.; ANTUNES, Pedro M.; SIMINSKI, Alexandre; KASCHUK, Glaciela. Matchmaking: a meta-analysis of plant growth-promoting microbial partnerships driving tree seedling performance in the Atlantic Forest biome. Restoration Ecology, v. 34, n. 4, e70328, 2026. DOI: https://doi.org/10.1111/rec.70328.

MENDES, Karina Dal Sasso; SILVEIRA, Renata Cristina de Campos Pereira; GALVÃO, Cristina Maria. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. Texto & Contexto – Enfermagem, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018.

OLIVEIRA, Mychelle Karla Teixeira de; DOMBROSKI, Jeferson Luiz Dallabona; MEDEIROS, Rita de Cássia Araújo de; FARIAS, Raul Martins de; TOMCZAK, Valmor Elias. Uso de substratos orgânico-minerais na produção de mudas de Erythrina velutina. Pesquisa

Florestal Brasileira, Colombo, v. 37, n. 91, p. 235–242, jul./set. 2017. DOI: https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1029.

ROSA, Ronaldo. Laboratório de Biotecnologia VI: manejo de mudas de pimenta-do-reino. [Fotografia]. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-imagens/-/midia/1517001/laboratorio-de-biotecnologia-vi.

SILVA, Philippe Solano Toledo; PRATES, Adrielle Rodrigues; FERNANDES, Dirceu Maximino; CASSIOLATO, Ana Maria Rodrigues; MALTONI, Katia Luciene. Microrganismos e lodo de esgoto compostado no desenvolvimento inicial de mudas de baru em vasos. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 5, p. 1021–1029, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-415220210240.

SOUSA, Carla da Silva; SOARES, Ana Cristina Fermino; GARRIDO, Marlon da Silva. Produção de mudas de tomateiro em substrato orgânico inoculado e incubado com estreptomicetos. Bragantia, Campinas, v. 68, n. 1, p. 195–203, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100021.