



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA -UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

JHON ANDERSON CHAVES DE ARAUJO

**FUNGOS MULTIFUNCIONAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL PROMOVEM
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L) CULTIVADAS
COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA REDUZIDA**

**BELÉM
2025**

JHON ANDERSON CHAVES DE ARAUJO

**FUNGOS MULTIFUNCIONAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL PROMOVEM
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L) CULTIVADAS
COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA REDUZIDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração em Produção Vegetal em sistemas agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Telma Fátima Vieira Batista

**BELÉM
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658f Araujo, Jhon Anderson Chaves de
 Fungos multifuncionais da Amazônia Oriental promovem crescimento de plantas de coentro
 (Coriandrum sativum L.) cultivadas com adubação orgânica reduzida / Jhon Anderson Chaves de Araujo. -
 2025.
 36 f. : il.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia(PPGA), Campus Universitário
 de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2025.
 Orientador: Profa. Dra. Telma Fátima Vieira Batista

 1. Bioestimulação. 2. Fungos endofíticos. 3. Trichoderma asperellum. 4. Metarhizium anisopliae. 5.
 Beauveria bassiana. I. Batista, Telma Fátima Vieira, *orient.* II. Título

CDD 630.9811

JHON ANDERSON CHAVES DE ARAUJO

**FUNGOS MULTIFUNCIONAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL PROMOVEM
CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L)
CULTIVADAS COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA REDUZIDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia,
como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia
(Área de concentração: Produção Vegetal em sistemas agrícolas), para
obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Telma Fatima Vieira Batista

Aprovado em: 18 de dezembro de 2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
TELMA FATIMA VIEIRA BATISTA
Data: 01/06/2026 20:01:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Telma Fatima Vieira Batista – Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA



Documento assinado digitalmente
GILBERTA CARNEIRO SOUTO
Data: 02/06/2026 11:31:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Gilberta Carneiro Souto- 1º examinador:
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ – IFPA

Prof. Dr. Sérgio Antônio Lopes de Gusmão - 2º examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA



Documento assinado digitalmente
GLEDSON LUIZ SALGADO DE CASTRO
Data: 01/06/2026 20:06:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gledson Luiz Salgado de Castro - 3º examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Belém

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente aos meus pais, Orlandino Araujo e Oneide Araujo, e à minha irmã, Pircilla Araujo, e meu cunhado, Marcelo Alessandro, cujo apoio incondicional, conversas inspiradoras e incentivo constante foram pilares fundamentais nesta jornada. Sua crença em mim, mesmo nos momentos de dúvida, e a torcida incansável pelo meu sucesso foram um combustível essencial para superar os desafios do mestrado.

Minha eterna gratidão à professora Dra. Telma Fátima Vieira Batista, que me acolheu com generosidade em um momento de grande dificuldade. Sua orientação, que se mostrou decisiva, foi fundamental para que eu chegasse até aqui, tanto no mestrado quanto na minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão, agradeço por seu apoio contínuo, que se estende desde a graduação até este momento. Sua atenção, amizade, disponibilidade e os conselhos que me ofereceu foram de grande importância para minha formação.

Agradeço também às minhas amigas, Jaqueline, Danielle e Izadora, que tornaram meus dias mais leves com momentos de descontração e apoio. A amizade de vocês foi essencial dentro do meu mestrado.

À Eluana, do Laboratório de Proteção de Plantas, meus sinceros agradecimentos pela orientação inicial que me permitiu dar os primeiros passos no meu trabalho de inoculação dos fungos. Sua ajuda foi essencial para o desenvolvimento da minha pesquisa.

À professora Dra. Dênmora Araújo e ao Laboratório Didático de Análises de Sementes – Labsem, agradeço pela oportunidade de realizar minhas análises e aprimorar meus conhecimentos.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, minha gratidão pela oportunidade de cursar o mestrado e expandir meus horizontes acadêmicos.

Por fim, agradeço à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a concretização deste sonho.

RESUMO

A crescente demanda por vegetais livres de insumos químicos exige o uso de técnicas de produção alternativas, especialmente na agricultura familiar urbana e periurbana, onde verduras e ervas são produzidas visando abastecer as grandes metrópoles. Embora a adubação orgânica seja a principal alternativa aos fertilizantes sintéticos, o uso intensivo de insumos como a cama de aviário pode elevar os custos de produção. Os bioestimulantes fúngicos apresentam uma estratégia promissora para a produção sustentável. Objetivou-se avaliar o crescimento, a rentabilidade e as características nutricionais do coentro (*Coriandrum sativum* L.), cv. Taboca, bioestimulado por fungos nativos da Amazônia, das espécies: *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*, associados à redução de 50% na adubação orgânica. O bioensaio foi conduzido em área comercial de agricultura familiar em Marituba, Amazônia Oriental, Brasil, em delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos consistiram em: T0 - 100% adubação orgânica (cama de aviário); T1 - 50% adubação orgânica; T2 - 50% adubação orgânica + *T. asperellum*; T3 - 50% adubação + *M. anisopliae*; T4 - 50% adubação orgânica + *B. bassiana*; T5 - 50% adubação orgânica + Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*). Os dados foram analisados utilizando ANOVA, teste Duncan e Análise de Componentes Principais (ACP). Como resultado, todos os tratamentos bioestimulados destacaram-se nos parâmetros biométricos, econômicos e nutricionais, destacando-se *T. asperellum*, por apresentar maiores taxas de crescimento, margem de lucro e maços de maior teor nutricional em comparação ao controle. Conclui-se que a aplicação de fungos nativos da Amazônia, *T. asperellum*, combinada com 50% de adubação orgânica, é uma estratégia viável e lucrativa para o cultivo sustentável de coentro cv. Taboca.

Palavras-chave: Amazônia Oriental, fungos entomopatogênicos, promotor de crescimento, *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*.

ABSTRACT

The growing demand for chemical-free vegetables necessitates the adoption of alternative production techniques, particularly within urban and peri-urban family farming systems that supply major metropolitan areas. While organic fertilization serves as the primary alternative to synthetic fertilizers, the intensive use of inputs such as poultry litter can increase production costs. Fungal biostimulants represent a promising strategy for sustainable agricultural production. This study aimed to evaluate the growth, profitability, and nutritional characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.), cv. Taboca, biostimulated by native Amazonian fungi of the species *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae*, and *Beauveria bassiana*, associated with a 50% reduction in organic fertilization. The bioassay was conducted in a commercial family farming area in Marituba, Eastern Amazon, Brazil, using a randomized block design. Treatments consisted of: T0 – 100% organic fertilization (poultry litter); T1 – 50% organic fertilization; T2 – 50% organic fertilization + *T. asperellum*; T3 – 50% fertilization + *M. anisopliae*; T4 – 50% organic fertilization + *B. bassiana*; and T5 – 50% organic fertilization + Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*). Data were analyzed using ANOVA, Duncan's test, and Principal Component Analysis (PCA). Results indicated that all biostimulated treatments showed superior performance in biometric, economic, and nutritional parameters. Notably, *T. asperellum* achieved the highest growth rates, profit margins, and nutritional content compared to the control. In conclusion, the application of native Amazonian fungi, specifically *T. asperellum*, combined with 50% organic fertilization, constitutes a viable and profitable strategy for the sustainable cultivation of coriander cv. Taboca.

Keywords: Eastern Amazon, entomopathogenic fungi, growth regulators, *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1 - Maços de coentro *Coriandrum sativum* L. cv Taboca aos 40 dias após o semeio, bioestimulados com fungos associados a 50% de adubação..... 26
- Fig. 2 - Parâmetros morfométricos em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Massa fresca da raiz (A), massa seca da raiz (B), massa fresca comercial da parte aérea (C), massa seca da parte aérea (D)..... 27
- Fig. 3 - Parâmetros morfométricos em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Altura (A), comprimento de raiz (B), diâmetro de coleto (C), massa seca do índice de qualidade Dickson (D)..... 28
- Fig. 4 - Análise nutricional em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Nitrogenio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Cálcio (D)..... 29
- Fig. 5 - Análise nutricional em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Magnésio (A), Ferro (B), Zinco (C) 30
- Fig. 6 - Análise de Componentes principais das características agronômicas do coentro de plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia31
- Fig. 7 - Análise econômica de custos de produção e lucro por m² do coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia..... 32

SUMÁRIO

MICROORGANISMOS DA AMAZÔNIA PROMOVEM CRESCIMENTO EM PLANTAS DE COENTRO (<i>Coriandrum sativum</i> L.).....	9
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. A cultura do coentro	11
2.2. Agricultura biológica, a relação endofítica na natureza	12
2.3. Fungos filamentosos.....	13
2.3.1. <i>Trichoderma asperellum</i>	14
2.3.2. <i>Metarhizium anisopliae</i>	15
2.3.3. <i>Beauveria bassiana</i>	16
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
4. ANEXO.....	21
FUNGOS MULTIFUNCIONAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL PROMOVEM CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COENTRO (<i>Coriandrum sativum</i> L) CULTIVADAS COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA REDUZIDA	23
RESUMO.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1. Área experimental	24
2.2. Análise econômica	25
2.3. Análise nutricional.....	26
2.4. Análise dos dados	26
3. RESULTADOS	26
3.1. Parâmetros biométricos	26
3.2. Análise nutricional.....	29
3.3. Análise de componentes principais	30
3.4. Parâmetros econômicos	31
4. DISCUSSÃO	32
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

MICRORGANISMOS DA AMAZÔNIA PROMOVEM CRESCIMENTO EM PLANTAS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L.)

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma hortaliça condimentar amplamente cultivada no Brasil, e possui ciclo de produção curto, variando de 40-50 dias, tornando-se cultura de destaque para pequenos produtores por garantir retorno rápido do investimento, sendo cultura de grande importância socio-econômica (Nguyen et al. 2019).

O estado do Ceará, se configurou como o principal produtor nacional, conforme os últimos dados do Censo Agropecuário do IBGE (2017) publicado até a presente data. Nesse período, a produção estadual alcançou valor superior a quarenta milhões de reais (anexo 1). No mesmo levantamento, o estado do Pará ocupou a quarta posição em valor de produção, com destaque para o município de Santa Izabel do Pará, que superou a marca de três milhões de reais (anexo 2), correspondendo aproximadamente a 12% do valor total arrecadado no estado.

A produção de alimentos na agricultura é o principal meio de suporte de vida, porém o aumento da demanda por alimentos intensificou impactos ambientais, diminuindo então a capacidade produtiva do solo, redução da biodiversidade e agravamento de problemas socioeconômicos, sendo necessário intervenções para uma agricultura mais sustentável (GARNETT *et al.*, 2013).

A Agricultura Urbana e Periurbana (AUP) constitui-se como um construtor estratégico intrinsecamente ligado à agenda de sustentabilidade das metrópoles contemporâneas. A sua consolidação é fundamentada na necessidade imperativa de desenvolver um sistema alimentar mais resiliente e robusto, atuando simultaneamente na mitigação de problemas ambientais urbanos e na otimização da segurança alimentar populacional (KUHN *et al.*, 2024; VIEIRA; PANAGOPOULOS, 2024). Essa dupla funcionalidade posiciona a AUP não apenas como uma atividade produtiva, mas como uma infraestrutura verde essencial para a promoção de cidades mais sustentáveis, uma vez que o cultivo em áreas intraurbanas ou periféricas facilita a distribuição e o consumo de produtos frescos.

Ao viabilizar a produção de hortaliças em áreas de alta densidade populacional ou em suas adjacências, a AUP promove uma redução drástica na cadeia de suprimentos, fator crucial para o acesso a alimentos frescos e de alto valor nutricional, alinhado à demanda crescente por produtos livres de pesticidas (NAGIB; NAKAMURA, 2020). Essa proximidade entre produção e consumo confere à atividade uma especial relevância socioeconômica. Em diversos contextos regionais, como amplamente documentado na Amazônia Oriental, o cultivo em áreas intraurbanas se configuram como uma estratégia de sobrevivência e um meio de garantir benefícios nutricionais diretos para as

populações em situação de vulnerabilidade, reforçando a autossuficiência alimentar regional, conforme observado em Belém (MADALENO, 2000).

No cenário brasileiro, a agricultura urbana e periurbana manifesta-se como um vetor de transformação socioespacial, onde a agricultura periurbana mantém o fluxo de abastecimento e a agricultura urbana fomenta a organização comunitária e a geração de renda (NAGIB; NAKAMURA, 2020). Reconhecendo este potencial produtivo e as vulnerabilidades inerentes ao agricultor urbano, as políticas públicas têm direcionado esforços para o uso racional do solo e o fomento à assistência técnica, como demonstrado em projetos-piloto de apoio à agricultura urbana na região de Santarém (VIEIRA; PANAGOPOULOS, 2024).

A utilização de fungos benéficos na agricultura, desempenha papel fundamental na promoção do crescimento vegetal e no controle de insetos praga em cultivos comerciais. Entre os mais estudados, podemos citar a *Beauveria bassiana*, *Trichoderma spp.* e *Metarhizium anisopliae*. Esses microrganismos têm sido investigados em diversas culturas devido ao seu potencial para substituir os defensivos convencionais, tornando-se aliados no manejo sustentável (GUPTA *et al.*, 2022; MONTE; BETTIOL; HERMOSA, 2019).

O desenvolvimento de uma planta está diretamente ligado a capacidade do solo de disponibilizar os nutrientes necessários para a cultura expressar toda a sua capacidade produtiva (MOURA *et al.*, 2021). Porém, para isso, é necessário utilizar fertilizantes externos para aumentar a níveis ótimos a concentração de macro e micro nutrientes, além de fazer o controle de insetos-praga que reduzem drasticamente a sanidade e produtividade da cultura, o que acaba aumentando o custo de produção dos cultivos convencionais (NOVAIS *et al.*, 2007).

A utilização de fungos endofíticos na agricultura tem mostrado resultados promissores, através da promoção de crescimento, alterações benéficas na fisiologia da planta, melhoria de exploração de nutrientes do solo e controle natural de insetos praga nos cultivos (GHAFFARI *et al.*, 2025; KRELL *et al.*, 2018; MOONJELY; BARELLI; BIDOCHKA, 2016; NGUYEN *et al.*, 2019).

Segundo Novais *et al.* (2007), a adoção de tecnologias que promovem o manejo adequado da relação solo-planta resulta em incrementos significativos na produtividade das culturas. Esse avanço ocorre em função da melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo, elementos essenciais para o desenvolvimento agrícola sustentável. Tais práticas são consideradas fundamentais para o progresso da agricultura, especialmente no que se refere ao aumento da eficiência produtiva no setor agrícola, contribuindo para a otimização dos recursos e a maximização dos resultados produtivos.

Diante do exposto, a hipótese desta pesquisa é que a utilização de fungos nativos da Amazônia, associados a 50% da adubação orgânica, são eficientes na promoção do crescimento de plantas de coentro cv. Taboca, incremento nutricional e proporcionam a redução nos custos de produção. Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficácia de bioinsumos a base de fungos multifuncionais, nativos da Amazônia, na promoção de crescimento associados à 50% de adubação orgânica na cultura do coentro cv. Taboca, em área comercial de agricultura familiar perirurbana, no município de Marituba, Pará, Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do coentro

Pertencente à família Apiaceae, o coentro é uma cultura herbácea anual amplamente utilizada tanto na culinária quanto na medicina tradicional. A espécie apresenta folhas verdes lanceoladas, flores de coloração branca ou rosa e sementes secas com formato globular (anexo 3). Cada parte da planta contém compostos químicos distintos, responsáveis por diversas aplicações nutricionais e medicinais (DIEDERICHSEN, 1996; MAHLEYUDDIN *et al.*, 2022)

Acredita-se que a origem do coentro seja das regiões do Oriente Médio e Mediterrâneo, de onde seu cultivo pode ter se expandido para a China, Europa, Índia, África e Ásia; no entanto, ainda existem incertezas sobre a provável origem, sendo considerado em certos locais como uma planta daninha em cultivos de cereais. (DIEDERICHSEN, 1996; MAHLEYUDDIN *et al.*, 2022). No Brasil, seu cultivo é relevante para a agricultura familiar, além de possuir ampla aceitação no mercado de hortaliças. A planta apresenta ciclo curto e adapta-se bem a diversas condições climáticas, o que favorece produção próxima aos centros consumidores, com fácil manejo e rápido retorno econômico (NADEEM *et al.*, 2013).

O cultivo de coentro em ambientes tropicais com altas temperaturas requer gestão cuidadosa da temperatura e dos recursos hídricos (PEREIRA; MUNIZ; NASCIMENTO, 2005). Embora as temperaturas elevadas possam reduzir a biomassa da planta, elas também podem aumentar a produção de metabólitos secundários de valor agregado (NGUYEN *et al.*, 2019). Práticas agronômicas eficazes, como o uso de sistemas hidropônicos, podem mitigar os desafios impostos pelas altas temperaturas, garantindo o sucesso do cultivo de coentro em regiões tropicais. Essa abordagem permite otimizar o crescimento vegetativo e a qualidade do produto, mesmo em condições climáticas adversas (NGUYEN *et al.*, 2019, 2020)

Além do valor econômico, o coentro desempenha papel significativo na saúde humana. Seus constituintes bioativos incluem flavonoides, compostos fenólicos e monoterpenos, como o linalol, que conferem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e hipoglicemiantes (MAHLEYUDDIN *et al.*, 2022). O linalol, em particular, tem sido associado a efeitos neuroprotetores, ansiolíticos e anticonvulsivantes (LARIBI *et al.*, 2015). Além disso, o consumo regular dessa hortaliça pode contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares devido ao potencial hipolipidêmico e cardioprotetor (NADEEM *et al.*, 2013; PATEL *et al.*, 2011)

Além de suas propriedades medicinais, o coentro destaca-se pela importância nutracêutica por conter altos teores de vitamina C, vitamina A, vitamina B9, vitamina B12 e polifenóis e muito utilizado na indústria farmacêutica (PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2018; UITTERHAEGEN *et al.*, 2018). A riqueza de compostos bioativos faz do coentro um alimento funcional, com potencial para integrar dietas saudáveis e tratamentos fitoterápicos (MAHLEYUDDIN *et al.*, 2022).

2.2. Agricultura biológica, a relação endofítica na natureza

A interação entre plantas e fungos é um fenômeno evolutivo de grande relevância ecológica, com evidências fósseis indicando sua ocorrência há mais de 400 milhões de anos, sendo fundamental na colonização das plantas em ambientes terrestres (KRINGS *et al.*, 2007). Embora os benefícios dessa associação sejam reconhecidos há séculos, foi apenas nas últimas décadas que pesquisas passaram a se concentrar nos mecanismos de ação e nos impactos dessa interação no crescimento e na proteção das plantas, destacando o potencial de espécies como *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e *Trichoderma asperellum* (MORSY; CLECKLER, BLAKEARMUELLES-MILLICAN, 2020; VEGA, 2018).

O termo "endofítico" tem sido objeto de debate científico, com definições evoluindo ao longo do tempo. Inicialmente, a primeira definição acadêmica foi feita por De Bary, em 1886 referindo-se a qualquer organismo que vivesse dentro de uma planta (BARON; RIGOBELLO, 2022), mas depois foi descrito como microrganismos que habitam tecidos vegetais sem causar sintomas de doença (HARDOIM *et al.*, 2015; RODRIGUEZ *et al.*, 2009). Uma abordagem mais recente redefine a concepção de endófitos, caracterizando-os como microrganismos que habitam os tecidos vegetais por pelo menos uma parte do seu ciclo de vida, sem causar qualquer dano à planta hospedeira. Essa perspectiva sugere que microrganismos atualmente classificados como endofíticos, mas que em algum momento apresentem efeitos prejudiciais, devem ser reclassificados (LE COCQ *et al.*, 2017).

No contexto agrícola, a caracterização de fungos endofíticos tem expandido suas aplicações, permitindo seu uso não apenas como agentes de controle biológico, mas também como bioestimulantes e biofertilizantes, reduzindo a dependência de pesticidas e fertilizantes químicos (AHMAD *et al.*, 2020).

Pesquisas recentes reforçam o potencial desses microrganismos na promoção do crescimento vegetal, na indução de resistência a patógenos e no aumento da produtividade agrícola de maneira sustentável, evidenciando a importância de estratégias baseadas em microrganismos para o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente e ambientalmente equilibrada (VEGA, 2018).

2.3. Fungos filamentosos

Os fungos endofíticos estabelecem relação mutualística importante ao residirem nos tecidos internos da planta sem causar nenhuma doença. Tal característica os posiciona como alternativa promissora para a agricultura sustentável (BURRAGONI; JEON, 2021)

Fungos do gênero *Trichoderma* são conhecidos por sua ação como micoparasitas, combatendo outros fungos patogênicos, além de promoverem o crescimento de plantas e induzirem resistência a estresses abióticos, tendo o Brasil como o país de destaque no ramo da pesquisa, na utilização para o manejo de doenças e incrementos de produtividade (MEDINA *et al.*, 2020; NASCENTE *et al.*, 2019).

Os fungos dos gêneros *Metarhizium* e *Beauveria* se destacam como entomopatógenos eficazes no controle de diversas pragas agrícolas, mas também, promoverem o crescimento vegetal e a indução de imunidade sistêmica em plantas (GUPTA *et al.*, 2022). A interação sinérgica entre esses fungos também tem sido explorada para melhorar a fertilidade do solo e aumentar a produtividade agrícola em áreas com condições adversas (SOPIALENA; MIRZA; NGGUDU, 2022)

O início da interação de colonização depende do reconhecimento da planta pelo fungo endofítico como hospedeiro. Este processo fundamental exige que o fungo acione mecanismos mínimos de virulência, essenciais para a invasão tecidual, os quais, a planta aciona suas defesas. Essa relação dinâmica é conceituada como antagonismo balanceado (SCHULZ *et al.*, 2015). O êxito desta relação está atrelado ao equilíbrio entre eles, onde o fungo garante sua sobrevivência ao extrair nutrientes da planta hospedeira enquanto oferece benefícios essenciais para o hospedeiro, como o aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos (BAMISILE *et al.*, 2018). Essa interação é influenciada por fatores como a composição dos exsudatos, a espécie vegetal e as condições ambientais, resultando em relação mutualística em que o fungo protege a planta contra pragas e a planta fornece nutrientes ao fungo, favorecendo seu crescimento e reprodução (HU; BIDOCHKA, 2021)

A promoção do crescimento vegetal ocorre por mecanismos diretos, como a biossíntese e liberação de fitohormônios essenciais como, auxinas, giberelinas, citocininas (WAQAS *et al.*, 2012) e o IAA sendo fundamental para o desenvolvimento radicular. Outro mecanismo direto chave é a solubilização de nutrientes, especialmente o fosfato (P) e o aumento na aquisição de nutrientes (fig. 3), sendo este um dos principais mecanismos de promoção de crescimento (BARON; RIGOBELLO, 2022; POVEDA *et al.*, 2022)

Contra fitopatógenos, a ação ocorre via mecanismos indiretos como antibiose, micoparasitismo e competição, além da indução de resistência sistêmica induzida (RSI) na planta (BARON; RIGOBELLO, 2022; POVEDA *et al.*, 2022). Fungos entomopatogênicos atuam contra insetos pragas por meio de enzimas degradadoras da cutícula e produção de toxinas, podendo também ativar as defesas da planta (BARON; RIGOBELLO, 2022; POVEDA *et al.*, 2022). Em estresses abióticos, a mitigação dos danos é conseguida pela produção de osmolitos (prolina) e enzimas antioxidantes (BARON; RIGOBELLO, 2022), além da enzima ACC deaminase (YAN *et al.*, 2019). Coletivamente, esses mecanismos complexos solidificam o papel dos endófitos na otimização da fertilidade do solo e na redução da dependência de insumos, sendo uma das áreas mais promissoras para a sustentabilidade agrícola (BARON; RIGOBELLO, 2022; POVEDA *et al.*, 2022)

O mercado brasileiro de insumos biológicos demonstra uma trajetória de grande expansão, impulsionado pela crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e por alterações regulatórias que facilitaram o registro de agentes de controle. Enquanto em 2019 o setor já se consolidava com mais de 95 produtos registrados, saltando para 502 produtos biológicos registrados em março de 2022 (SOARES *et al.*, 2023; TOGNI *et al.*, 2019), os anos subsequentes testemunharam um crescimento de mercado sem precedentes. No ano de 2022, a indústria de produtos biológicos no Brasil atingiu um faturamento notável superior a 817 milhões de dólares, um resultado que representa um aumento de 479% nas vendas em comparação com o volume registrado em 2019, tendo como principais produtos os bionematicidas, bioinseticidas e biofungicidas (SOARES *et al.*, 2023)

2.3.1. *Trichoderma asperellum*

O controle biológico é um processo complexo que envolve diversidade de mecanismos e vias bioquímicas para garantir sua eficácia. Dentre os agentes biológicos mais relevantes, destacam-se as espécies do gênero *Trichoderma*, que agem no controle de fungos fitopatogênicos, representando alternativa sustentável aos pesticidas químicos (NASCIMENTO *et al.*, 2022; YADAV *et al.*, 2021).

Trichoderma pertence à classe Sordariomycetes. Nas espécies em que a fase sexuada é identificada, ela se caracteriza pela formação de corpos de frutificação do tipo peritécio, os quais se

desenvolvem estromas de coloração que pode variar entre verde, amarelada, creme ou marrom, e são produzidos sobre o meio de cultura colonizado (NASCENTE *et al.*, 2019).

Esses fungos atuam não apenas como biofertilizantes, mas também como fontes de enzimas ativas, como glucanases e quitinases, além de produzirem metabólitos bioativos com propriedades antimicrobianas. Os mecanismos de antagonismo empregados por *Trichoderma* incluem a antibiose, por meio da produção de metabólitos secundários, o macroparasitismo, mediante a secreção de enzimas hidrolíticas; a competição por espaço e nutrientes; a promoção do crescimento vegetal; e a indução da resistência sistêmica da planta hospedeira, fortalecendo sua defesa contra patógenos (MADBOULY, 2021). Essas características tornam *Trichoderma* uma ferramenta valiosa para a agricultura sustentável e a proteção de cultivos.

Apesar dos avanços, ainda existem lacunas no entendimento genético e fisiológico do gênero *Trichoderma*. Além disso, há número limitado de isolados comerciais disponíveis no Brasil. Porém, dos produtos comerciais disponíveis, apenas 21 dos 246 produtos à base de *Trichoderma* registrados no país são produzidos nacionalmente (BETTIOL *et al.*, 2019).

O desenvolvimento de produtos comerciais com cepas nativas não apenas aumenta a eficácia do controle biológico, mas também garante maior compatibilidade com os ecossistemas regionais, potencializando os resultados no campo e reduzindo a dependência de insumos externos. Isso representa oportunidade estratégica para o desenvolvimento de novos produtos baseados em isolados nativos, os quais podem apresentar maior potencial antagonista e melhor adaptação às condições ambientais locais. Essa abordagem pode levar à criação de soluções biológicas mais eficientes e sustentáveis, alinhadas às necessidades específicas da agricultura brasileira (NASCIMENTO *et al.*, 2022).

2.3.2. *Metarhizium anisopliae*

O *Metarhizium* é um gênero de fungos entomopatogênicos pertencentes a família Clavicipitaceae (SUNG *et al.*, 2007). O gênero *Metarhizium* desempenha papel fundamental na ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, atuando como agente biológico de grande importância. Além do seu potencial no controle de insetos-praga, esses fungos estabelecem relações mutualísticas com as raízes das plantas, promovendo benefícios para ambos os organismos (NASCENTE *et al.*, 2019).

A interação planta-fungo promove múltiplos benefícios para o sistema. Além do controle de crescimento populacional de insetos-praga, promovem também o crescimento da planta, transferência

de nutrientes através da captura do nitrogênio do inseto morto em troca de carbono, e redução de doenças na planta. (AHMAD *et al.*, 2020; KRELL *et al.*, 2018)

Esses fungos formam associações endofíticas com plantas, transferindo nitrogênio derivado de insetos mortos para as mesmas. Esse processo ocorre quando o fungo mata o inseto, captura o nitrogênio e o transfere para a planta em troca de carbono (BEHIE; BIDOCHKA, 2014).

2.3.3. *Beauveria bassiana*

O fungo *Beauveria bassiana* pertence ao gênero *Beauveria*, da ordem Hypocreales, e é amplamente reconhecido por seu papel como agente de controle biológico de insetos-praga. (MWIKALI; MWAMBURI; MUSINGUZI, 2025). Classificado como um fungo entomopatogênico, *B. bassiana* infecta e mata uma variedade de insetos, sendo utilizado globalmente em programas de manejo integrado de pragas (WANG *et al.*, 2021)

Além de sua importância no controle de pragas, *B. bassiana* demonstra capacidade de colonizar a rizosfera e estabelecer relações endofíticas com as plantas, promovendo resistências a estresses abióticos e a capacidade de parasitar ou prejudicar insetos em desenvolvimento que habitam nos tecidos vegetais (AKTER *et al.*, 2023; GHAFARI *et al.*, 2025). Essas características multifuncionais destacam *B. bassiana* como um organismo de grande relevância ecológica e agrícola, com potencial para contribuir significativamente para práticas agrícolas sustentáveis e redução do uso de insumos.

A característica da *Beauveria* poder promover o crescimento da planta ainda não é exata, havendo evidências que sugerem a capacidade desse fungo de transferir nitrogênio proveniente de corpos de insetos mortos para a planta hospedeira, promovendo seu desenvolvimento (GHAFARI *et al.*, 2025; JABER; ENKERLI, 2016; LOPEZ; SWORD, 2015).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, I.; JIMÉNEZ-GASCO, M. del M.; LUTHE, D. S.; SHAKEEL, S. N.; BARBERCHECK, M. E. Endophytic *Metarhizium robertsii* promotes maize growth, suppresses insect growth, and alters plant defense gene expression. **Biological Control**, vol. 144, no. December, p. 104167, 2020. DOI 10.1016/j.biocontrol.2019.104167. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104167>.

AKTER, T.; MIMMA, A. A.; HAQUE, M. A.; HOSSAIN, M. M.; GHOSH, T. K.; ZINAN, N.; CHOWDHURY, M. Z. H.; ISLAM, S. M. N. Seed priming with *Beauveria bassiana* improves growth and salt stress response in rice. **Environmental and Experimental Botany**, vol. 213, no. March, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105427>.

BAMISILE, B. S.; DASH, C. K.; AKUTSE, K. S.; KEPPANAN, R.; WANG, L. Fungal

endophytes: Beyond herbivore management. **Frontiers in Microbiology**, vol. 9, no. MAR, 23 Mar. 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544>.

BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. **Mycology**, vol. 13, no. 1, p. 39–55, 2022. DOI 10.1080/21501203.2021.1945699. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699>.

BEHIE, S. W.; BIDOCHKA, M. J. Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: An additional branch of the soil nitrogen cycle. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 80, no. 5, p. 1553–1560, 2014. <https://doi.org/10.1128/AEM.03338-13>.

BETTIOL, W.; PINTO, Z. V.; SILVA, J. C. da; FORNER, C.; FARIA, M. R. de; PACIFICO, M. G.; COSTA, L. S. A. S. Produtos comerciais à base de *Trichoderma*. **Trichoderma: Uso na agricultura**, , p. 45–160, 2019. .

BURRAGONI, S. G.; JEON, J. Applications of endophytic microbes in agriculture, biotechnology, medicine, and beyond. **Microbiological Research**, vol. 245, 1 Apr. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126691>.

DIEDERICHSEN, A. **Coriander. Coriandrum sativum L.** [S. l.: s. n.], 1996.

GARNETT, T.; APPLEBY, M. C.; BALMFORD, A.; BATEMAN, I. J.; BENTON, T. G.; BLOOMER, P.; BURLINGAME, B.; DAWKINS, M.; DOLAN, L.; FRASER, D.; HERRERO, M.; HOFFMANN, I.; SMITH, P.; THORNTON, P. K.; TOULMIN, C.; VERMEULEN, S. J.; GODFRAY, H. C. J. Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. **Science**, vol. 341, no. 6141, p. 33–34, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>.

GHAFFARI, S.; KARIMI, J.; CHENIANY, M.; SEIFI, A.; LOVERODGE, J.; BUTT, T. M. Endophytic entomopathogenic fungi enhance plant immune responses against tomato leafminer. **Journal of Invertebrate Pathology**, vol. 209, no. January, p. 108270, 2025. DOI 10.1016/j.jip.2025.108270. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2025.108270>.

GUPTA, R.; KEPPANAN, R.; LEIBMAN-MARKUS, M.; RAV-DAVID, D.; ELAD, Y.; MENT, D.; BAR, M. The Entomopathogenic Fungi *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana* Promote Systemic Immunity and Confer Resistance to a Broad Range of Pests and Pathogens in Tomato. **Phytopathology**, vol. 112, no. 4, p. 784–793, 2022. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-21-0343-R>.

HARDOIM, P. R.; VAN OVERBEEK, L. S.; BERG, G.; PIRTILÄ, A. M.; COMPANT, S.; CAMPISANO, A.; DÖRING, M.; SESSITSCH, A. The Hidden World within Plants: Ecological and Evolutionary Considerations for Defining Functioning of Microbial Endophytes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, vol. 79, no. 3, p. 293–320, 2015. <https://doi.org/10.1128/mmbr.00050-14>.

HU, S.; BIDOCHKA, M. J. Root colonization by endophytic insect-pathogenic fungi. **Journal of Applied Microbiology**, vol. 130, no. 2, p. 570–581, 2021. <https://doi.org/10.1111/jam.14503>.

JABER, L. R.; ENKERLI, J. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. **Biological Control**, vol. 103, p. 187–195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.09.008>.

KRELL, V.; UNGER, S.; JAKOBS-SCHOENWANDT, D.; PATEL, A. V. Endophytic *Metarhizium brunneum* mitigates nutrient deficits in potato and improves plant productivity and vitality. **Fungal Ecology**, vol. 34, p. 43–49, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.04.002>.

KRINGS, M.; TAYLOR, T. N.; HASS, H.; KERP, H.; DOTZLER, N.; HERMSEN, E. J. Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: Infection pathways, spatial distribution, and host responses. **New Phytologist**, vol. 174, no. 3, p. 648–657, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02008.x>.

KUHN, E. A.; RORATO, G. Z.; MELLO, B. C. E. de; FALCÃO, C. C.; ALVES, R. V. URBAN AND PERI-URBAN AGRICULTURE IN BRAZILIAN CAPITALS: WHAT DOES RECENT ACADEMIC PRODUCTION REVEAL? **MIX Sustentável**, vol. 10, no. 5, p. 183–196, 9 Dec. 2024. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2024.v10.n5.183-196>.

LARIBI, B.; KOUKI, K.; M'HAMDI, M.; BETTAIEB, T. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. **Fitoterapia**, vol. 103, p. 9–26, 2015. DOI 10.1016/j.fitote.2015.03.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fitote.2015.03.012>.

LE COCQ, K.; GURR, S. J.; HIRSCH, P. R.; MAUCHLINE, T. H. Exploitation of endophytes for sustainable agricultural intensification. **Molecular Plant Pathology**, vol. 18, no. 3, p. 469–473, 2017. <https://doi.org/10.1111/mpp.12483>.

LOPEZ, D. C.; SWORD, G. A. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). **Biological Control**, vol. 89, p. 53–60, 2015. DOI 10.1016/j.biocontrol.2015.03.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010>.

MADALENO, I. Urban agriculture in Belem, Brazil. **Cities**, vol. 17, p. 73–77, 2000. .

MADBOULY, A. K. **Biodiversity of Genus Trichoderma and Their Potential Applications**. [S. l.: s. n.], 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67561-5_13.

MAHLEYUDDIN, N. N.; MOSHAWIH, S.; MING, L. C.; ZULKIFLY, H. H.; KIFLI, N.; LOY, M. J.; SARKER, M. M. R.; AL-WORAFI, Y. M.; GOH, B. H.; THURAISSINGAM, S.; GOH, H. P. *Coriandrum sativum* L.: A review on ethnopharmacology, phytochemistry, and cardiovascular benefits. **Molecules**, vol. 27, no. 1, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27010209>.

MEDINA, E. Q. A.; OLIVEIRA, A. S.; MEDINA, H. R.; RANGEL, D. E. N. Serendipity in the wrestle between *Trichoderma* and *Metarhizium*. **Fungal Biology**, vol. 124, no. 5, p. 418–426, 2020. DOI 10.1016/j.funbio.2020.01.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.01.002>.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. **Trichoderma: Uso na Agricultura**, , p. 181–199, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gabriel_Moura_Mascarin/publication/340331300_Industrial_production_of_Trichoderma_Chapter_08_-_in_Portuguese/links/5e83fa9d299bf130796dc569/Industrial-production-of-Trichoderma-Chapter-08-in-Portuguese.pdf#page=181.

MOONJELY, S.; BARELLI, L.; BIDOCHKA, M. J. Insect Pathogenic Fungi as Endophytes. **Advances in Genetics**, vol. 94, p. 107–135, 2016. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2015.12.004>.

MORSY, M.; CLECKLER, BLAKEARMUELLES-MILLICAN, H. Fungal Endophytes Promote Tomato Growth and Enhance Drought and Salt Tolerance. **Plants**, 2020. .

MOURA, D. A.; SOARES, J. P. G.; REIS, S. A.; FARIAS, L. F. Agricultura Orgânica: impactos ambientais, sociais, econômicos e na saúde humana. **COLÓQUIO - Revista do Desenvolvimento Regional**, vol. 19, no. 1, p. 215–235, 2021. <https://doi.org/10.26767/2354>.

- MWIKALI, P. C.; MWAMBURI, L. A.; MUSINGUZI, S. P. Biological characteristics and pathogenicity of entomopathogenic *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill (Hypocreales: Cordycipitaceae) isolated from soils in Northern Kenya against desert locust (*Schistocerca gregaria*) (Forskål) (Orthoptera: Acrididae). **Crop Protection**, vol. 190, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107126>.
- NADEEM, M.; ANJUM, F. M.; KHAN, M. I.; TEHSEEN, S.; EL-GHORAB, A.; SULTAN, J. I. Nutritional and medicinal aspects of coriander (*Coriandrum sativum* L.): A review. **British Food Journal**, vol. 115, no. 5, p. 743–755, 2013. <https://doi.org/10.1108/00070701311331526>.
- NAGIB, G.; NAKAMURA, A. C. Urban agriculture in the city of São Paulo: New spatial transformations and ongoing challenges to guarantee the production and consumption of healthy food. **Global Food Security**, vol. 26, 1 Sep. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100378>.
- NASCENTE, A. S.; MATSUMURA, A. T. S.; MATSUMURA, A. S.; GERALDINE, A. M.; SOUSA, A. B. O. de; SOUSA, A. C. A. de; DIAS, A. R.; SANTOS, Á. F. dos; TAVARES, A. N. G.; PEREIRA, A. C. P.; BRÍGIDA, A. I. S.; LANNA, A. C.; TANIGUCHI, C. A. K.; UTIAMADA, C. M.; FORNER, C.; WEILER, C. A.; SILVA, C. de F. B. da; MARUYAMA, C. R.; ULHOA, C. J.; ... PINTO, Z. V. **Trichoderma: uso na agricultura**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208230/1/livro-trichoderma-online-06.01.20.pdf>.
- NASCIMENTO, V. C.; RODRIGUES-SANTOS, K. C.; CARVALHO-ALENCAR, K. L.; CASTRO, M. B.; KRUGER, R. H.; LOPES, F. A. C. Trichoderma: biological control efficiency and perspectives for the Brazilian Midwest states and Tocantins. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 82, p. 1–9, 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.260161>.
- NGUYEN, D. T. P.; LU, N.; KAGAWA, N.; KITAYAMA, M.; TAKAGAKI, M. Short-term root-zone temperature treatment enhanced the accumulation of secondary metabolites of hydroponic coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown in a plant factory. **Agronomy**, vol. 10, no. 3, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030413>.
- NGUYEN, D. T. P.; LU, N.; KAGAWA, N.; TAKAGAKI, M. Optimization of photosynthetic photon flux density and root-zone temperature for enhancing secondary metabolite accumulation and production of coriander in plant factory. **Agronomy**, vol. 9, no. 5, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050224>.
- NOVAIS, Roberto Ferreira. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- PATEL, R. G.; PATHAK, N. L.; RATHOD, J. D.; PATEL, L. D.; BHATT, N. M. Phytopharmacological properties of *Randia dumetorum* as a potential medicinal tree: An overview. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, vol. 1, no. 10, p. 24–26, 2011. .
- PEREIRA, R. S.; MUNIZ, M. F. B.; NASCIMENTO, W. M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. **Horticultura Brasileira**, vol. 23, no. 3, p. 703–706, 2005. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362005000300002>.
- POVEDA, J.; BAPTISTA, P.; SACRISTÁN, S.; VELASCO, P. Editorial: Beneficial effects of fungal endophytes in major agricultural crops. **Frontiers in Plant Science**, vol. 13, no. November, p. 1–5, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1061112>.
- PRACHAYASITTIKUL, V.; PRACHAYASITTIKUL, S.; RUCHIRAWAT, S.; PRACHAYASITTIKUL, V. Coriander (*Coriandrum sativum*): A promising functional food toward the well-being. **Food Research International**, vol. 105, no. August 2017, p. 305–323, 2018. DOI

10.1016/j.foodres.2017.11.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.019>.

RODRIGUEZ, R. J.; WHITE, J. F.; ARNOLD, A. E.; REDMAN, R. S. Fungal endophytes: Diversity and functional roles: Tansley review. **New Phytologist**, vol. 182, no. 2, p. 314–330, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>.

SCHULZ, B.; HAAS, S.; JUNKER, C.; ANDRÉE, N.; SCHOBERT, M. **Fungal endophytes-biology and bioprospecting Fungal endophytes are involved in multiple balanced antagonisms**. [S. l.: s. n.], 2015.

SOARES, C. R. F. S.; HERNÁNDEZ, A. G.; DA SILVA, E. P.; DE SOUZA, J. E. A.; BONFIM, D. F.; ZABOT, G. L.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Applications and Market of Micro-Organism-Based and Plant-Based Inputs in Brazilian Agriculture. **Plants**, vol. 12, no. 22, 1 Nov. 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12223844>.

SOPIALENA, S.; MIRZA, A.; NGGUDU, M. F. Impact of *Metarhizium* sp. and *Trichoderma* sp. on Soil Fertility and Growth of Tomatoes (*Solanum Lycopersicum* L.) in Post-Mining Land. **KnE Life Sciences**, vol. 2022, p. 409–426, 2022. <https://doi.org/10.18502/kl.v7i3.11148>.

SUNG, G. H.; HYWEL-JONES, N. L.; SUNG, J. M.; LUANGSA-ARD, J. J.; SHRESTHA, B.; SPATAFORA, J. W. Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. **Studies in Mycology**, vol. 57, p. 5–59, 2007. DOI 10.3114/sim.2007.57.01. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3114/sim.2007.57.01>.

TOGNI, P. H. B.; VENZON, M.; LAGÔA, A. C. G.; SUJII, E. R. Brazilian Legislation Leaning Towards Fast Registration of Biological Control Agents to Benefit Organic Agriculture. **Neotropical Entomology**, vol. 48, no. 2, p. 175–185, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00675-8>.

UITTERHAEGEN, E.; BURIANOVÁ, K.; BALLAS, S.; VÉRONÈSE, T.; MERAH, O.; TALOU, T.; STEVENS, C. V.; EVON, P.; SIMON, V. Characterization of volatile organic compound emissions from self-bonded boards resulting from a coriander biorefinery. **Industrial Crops and Products**, vol. 122, no. April, p. 57–65, 2018. DOI 10.1016/j.indcrop.2018.05.050. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.050>.

VEGA, F. E. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. **Mycologia**, vol. 110, no. 1, p. 4–30, 2018. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>.

VIEIRA, T. A.; PANAGOPOULOS, T. Urban agriculture in Brazil: Possibilities and challenges for Santarém, eastern Amazonia. **Land Use Policy**, vol. 139, 1 Apr. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107082>.

WANG, H.; PENG, H.; LI, W.; CHENG, P.; GONG, M. The Toxins of *Beauveria bassiana* and the Strategies to Improve Their Virulence to Insects. **Frontiers in Microbiology**, vol. 12, no. April 2016, p. 1–11, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.705343>.

WAQAS, M.; KHAN, A. L.; KAMRAN, M.; HAMAYUN, M.; KANG, S. M.; KIM, Y. H.; LEE, I. J. Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes host-plant growth during stress. **Molecules**, vol. 17, no. 9, p. 10754–10773, Sep. 2012. <https://doi.org/10.3390/molecules170910754>.

YADAV, A. N.; KAUR, T.; DEVI, R.; KOUR, D.; YADAV, A.; DIKILITAS, M.; USMANI, Z.; YADAV, N.; ABDEL-AZEEM, A. M.; AHLUWALIA, A. S. **Biodiversity and Biotechnological Applications of Industrially Important Fungi: Current Research and Future Prospects**. [S. l.: s. n.], 2021. vol. 1, . https://doi.org/10.1007/978-3-030-67561-5_17.

YAN, L.; ZHU, J.; ZHAO, X.; SHI, J.; JIANG, C.; SHAO, D. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, vol. 103, no. 8, p. 3327–3340, 2 Apr. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09713-2>.

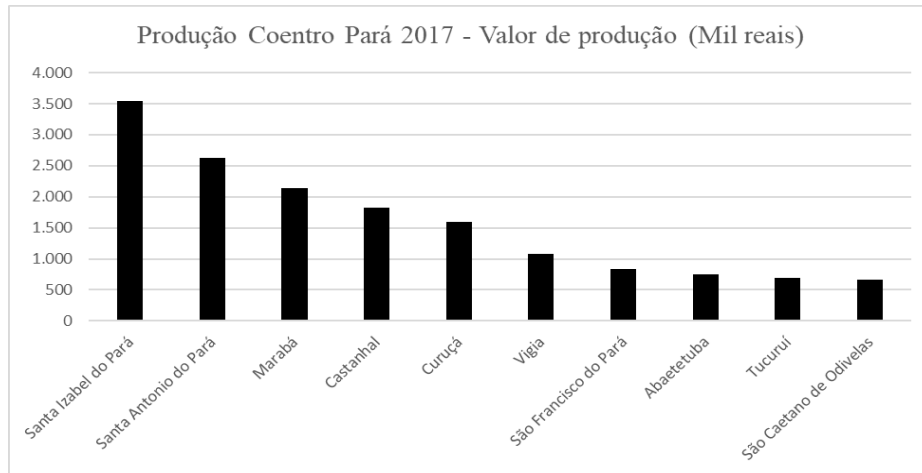
4. ANEXO

Anexo 1 - Produção de coentro *Coriandrum sativum* no ano de 2017 no Brasil



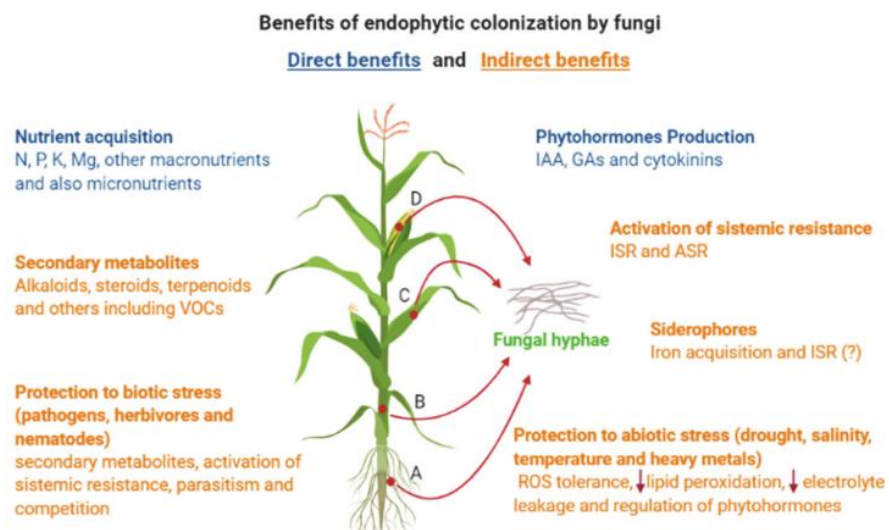
Fonte: Censo Agropecuário, 2017

Anexo 2: Valor da produção de coentro *Coriandrum sativum* no ano de 2017 no estado do Pará



Fonte: Censo Agropecuário, 2017

Anexo 3: Esquema dos benefícios planta-fungos endofíticos.



Fonte: Baron e Rigobelo, 2022

Editado conforme as normas da revista *Journal Soil Science and plant nutrition*.

FUNGOS MULTIFUNCIONAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL PROMOVEM CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L.) CULTIVADAS COM ADUBAÇÃO ORGÂNICA REDUZIDA

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento, a lucratividade e as características nutricionais do coentro (*Coriandrum sativum* L.) cv. Taboca bioestimulado por fungos nativos amazônicos, associado a uma redução de 50% na adubação orgânica. Embora a adubação orgânica seja a principal alternativa aos fertilizantes sintéticos, o uso intensivo de insumos como a cama de aviário pode elevar os custos de produção. A principal questão de pesquisa foi: a aplicação de fungos nativos amazônicos específicos pode manter ou superar a produtividade e a qualidade do coentro, ao substituir 50% da adubação orgânica. O bioensaio foi conduzido em uma área de agricultura familiar comercial em Marituba, Amazônia Oriental, utilizando delineamento de blocos casualizados com os tratamentos consistindo em: T0 - 100% de adubação orgânica (cama de aviário); T1 - 50% de adubação orgânica; T2 - 50% de adubação orgânica + *T. asperellum*; T3 - 50% de adubação + *M. anisopliae*; T4 - 50% de adubação orgânica + *B. bassiana*; T5 - 50% de adubação orgânica + Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*). Os dados foram analisados utilizando ANOVA, teste de Duncan e Análise de Componentes Principais (ACP). Os resultados revelaram que todos os tratamentos bioestimulados, exceto o tratamento Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*), se destacaram nos parâmetros biométricos, econômicos e nutricionais, com *T. asperellum* e *B. bassiana* sobressaindo por apresentarem resultados superiores em comparação com os controles 100% e 50% da adubação orgânica. Conclui-se que a aplicação de fungos nativos amazônicos, *T. asperellum* e *B. bassiana*, combinada com 50% de adubação orgânica, é uma estratégia viável, lucrativa e eficiente para o cultivo sustentável do coentro cv. Taboca, permitindo redução significativa no uso de insumos sem comprometer a qualidade e o padrão comercial das plantas de coentro.

1. INTRODUÇÃO

O coentro (*C. sativum* L.), especiaria da família Apiaceae, tem origem geográfica associada à região do Mediterrâneo Oriental e Sul da Europa (HIREMATH *et al.*, 2025; NAIR; SHARMA; PANDEY, 2022). No cenário mundial, a Índia é o principal polo de produção, consumo e exportação desta cultura, cultivada predominantemente em regiões tropicais (HIREMATH *et al.*, 2025; NAIR; SHARMA; PANDEY, 2022). Com amplo mercado, suas folhas são essenciais na culinária, e suas sementes são cruciais para a produção de óleos essenciais, confeitarias, licores e cosméticos (PÓVOA *et al.*, 2024). Além disso, as sementes são reconhecidas por possuírem propriedades nutraceuticas, incluindo efeitos carminativos e diuréticos (NAIR; SHARMA; PANDEY, 2022). Devido ao interesse em cultivo intensificado e na busca por rentabilidade, otimizar a produtividade do coentro é um foco fundamental para a pesquisa em agricultura.

A busca por uma agricultura mais sustentável impulsiona a adoção da bioestimulação na horticultura como ferramenta fundamental (FRANZONI *et al.*, 2022; ZULFIQAR *et al.*, 2020). O setor enfrenta desafios crescentes, como as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a dependência de insumos externos, tornando crucial a manutenção ou o aumento da produtividade (LI; VAN GERREWEY; GEELLEN, 2022; SUN; SHAHRAJABIAN; SOLEYMANI, 2024). Nesse contexto, os bioestimulantes vegetais, atuam promovendo a saúde e a vitalidade das plantas (DROBEK; FRĄC; CYBULSKA, 2019; FRANZONI *et al.*, 2022).

Os impactos positivos da bioestimulação são amplamente reconhecidos na melhoria da produtividade e resiliência das culturas. Estes otimizam a absorção e eficiência de uso de nutrientes no solo, potencializam crescimento e tolerância a estresses ambientais (BULGARI; FRANZONI; FERRANTE, 2019; ZULFIQAR *et al.*, 2020). A aplicação de bioestimulantes tem demonstrado ser estratégia eficaz para reduzir o impacto de estresses abióticos (COSTA *et al.*, 2025; FRANZONI *et al.*, 2022). Assim, a bioestimulação representa componente importante para a transição em direção a sistemas de produção hortícola mais robustos, eficientes e alinhado com os princípios da agricultura sustentável (LI; VAN GERREWEY; GEELLEN, 2022; SUN; SHAHRAJABIAN; SOLEYMANI, 2024).

O estímulo ao crescimento vegetal é mediado por vias diretas, destacando-se a síntese e a secreção de fitormônios essenciais, como auxinas, giberelinas e citocinas (WAQAS *et al.*, 2012). Nesse processo, o ácido indolacético (AIA) assume um papel central na modulação da arquitetura radicular. Complementarmente, a capacidade de solubilização de minerais, principalmente o fósforo, e a consequente otimização da absorção de nutrientes consolidam-se como os pilares da promoção do crescimento vegetal via microrganismos (BARON; RIGOBELLO, 2022; POVEDA *et al.*, 2022)

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficácia de bioinsumos a base de fungos nativos da Amazônia na promoção de crescimento associados à 50% de adubação orgânica na cultura do coentro cv. Taboca, em área comercial de agricultura familiar perirurbana, no município de Marituba, Amazônia Oriental, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

A pesquisa foi conduzida em área comercial de agricultura familiar periurbana no município de Marituba, região metropolitana da cidade de Belém, cujas coordenadas geográficas são 01°23'23.99" S e 48°20'59.27" O. O clima da região possui classificação de Köppen e Geiger, tipo Af, com pluviosidade média anual entre 2.500 mm a 3.000 mm e temperatura média anual de 26,5 °C (ALVARES *et al.*, 2013), e o solo no local do experimento foi classificado como latossolo amarelo (SANTOS *et al.*, 2025).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados contendo 6 tratamentos e 5 repetições. Cada unidade experimental foi representada por um canteiro de 1m². Foi feito o preparo dos canteiros em área coberta com plástico agrícola. Após dois dias, foi feito o semeio em linhas de coentro da cultivar taboca, utilizando aproximadamente 1,5 gramas de semente por metro linear, com espaçamento entre linhas de 20 cm.

O manejo da adubação, foi realizado com cama de aviário curtida, e seguiu o seguinte padrão: A primeira aplicação foi realizada após a semeadura, utilizando-se 1 kg por unidade experimental de esterco para o tratamento de 100% da adubação e 500 g para o tratamento de 50% da adubação. A segunda aplicação ocorreu 21 dias após a semeadura, complementando as doses com 500 g para o tratamento integral e 250 g para o tratamento reduzido.

Para a coleta das amostras, as plantas foram selecionadas de forma a garantir a representatividade e eliminar o efeito de bordadura. Para isso, a coleta foi realizada em três pontos aleatórios na região central de cada canteiro. Em cada um desses pontos, foram coletadas 10 plantas, totalizando as amostras que representaram a unidade experimental para as análises subsequentes

Os tratamentos consistiram na utilização dos fungos da Amazônia, *T. asperellum*, *M. anisopliae* e *B. bassiana* com 50% da adubação, e o tratamento padrão da área comercial, com 100% da adubação (Tabela 1).

Tabela 1 - Tratamentos utilizados nesta pesquisa, na cultura do coentro *Coriandrum sativum* associados a fungos nativos da Amazônia Oriental

Tratamentos	Descrição
T0	100% adubação recomendada
T1	50% adubação da adubação recomendada
T2	50% adubação + <i>Trichoderma asperellum</i>
T3	50% adubação + <i>Metahizium anisopliae</i>
T4	50% adubação + <i>Beauveria bassiana</i>
T5	50% adubação + Mix (<i>M. anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>)

Fonte: O autor (2025)

Os fungos investigados neste estudo são provenientes de solos da região amazônica brasileira e estão mantidos na micoteca “Maria de Lourdes Reis Duarte”, vinculada ao Laboratório de Proteção de Plantas (LPP) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizada na cidade de Belém, 1° 27’ 21” S, 48° 30’ 14” O. Foram utilizados isolados das espécies *Trichoderma asperellum* (Isolados UFRA_T06, UFRA_T09, UFRA_T12, UFRA_T52) além dos fungos entomopatogênicos *Metarhizium anisopliae* (UFRA_Ma62) e *Beauveria bassiana* (UFRA_Bb05), onde foram cultivados em placas de petri no meio de cultura BDA por sete dias, onde foram inoculados em arroz parboilizado por mais sete dias.

Foram realizadas três aplicações para cada tratamento bioestimulado, sendo feitas aos três, dez e vinte dias após semeio. Os fungos foram aplicados em suspensão de 1 litro por metro quadrado na concentração de 1 x 10⁸ de esporos mL⁻¹.(FERREIRA *et al.* (2024)

As plantas foram colhidas manualmente 40 dias após o semeio, fazendo a retirada em três pontos aleatórios de 40cm² dos canteiros, procurando manter as raízes intactas para posterior mensuração. Após a colheita, as plantas foram submetidas ao processo de lavagem em água corrente, e retirada das folhas aclorofiladas para mensuração da massa comercial.

As avaliações dos variáveis biométricos foram realizadas ao final do ciclo da cultura, sendo avaliados a altura (H), diâmetro de coleto (DC), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), comprimento de raiz (CR), seguindo a metodologia de Benincasa (2003), e índice de qualidade Dickson (IQD) calculado conforme a equação abaixo proposta por Dickson (1960).

$$IQD = \frac{Massa\ seca\ total}{(\frac{Altura}{Diâmetro\ de\ coleto}) + (\frac{Massa\ seca\ da\ parte\ aérea}{Massa\ seca\ da\ raiz})}$$

2.2. *Análise econômica*

A análise econômica foi conduzida com base no canteiro comercial de 24 m² utilizado pelos agricultores periurbanos locais, a estimativa dos custos de produção baseada conforme a metodologia da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010), sendo considerado os custos de mão de obra, sementes, adubo orgânico, bioinsumos, tratos culturais, irrigação, colheita e embalagem, transporte.

2.3. Análise nutricional

Para análise nutricional, foram selecionados os tratamentos bioestimulados, que demonstraram os melhores resultados biométricos e econômicos e o tratamento controle (100% da adubação), onde foi utilizada apenas a massa seca da parte aérea na determinação dos teores de nitrogênio, através da digestão sulfúrica, e o fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco através da digestão nítrica-perclórica, realizada em laboratório comercial Solos & Plantas, no município de Paragominas, Brasil, onde o nitrogênio foi determinado através da digestão sulfúrica, e .

2.4. Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e ao teste Duncan para comparação de médias a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas através do software R 4.3.3 (R Core Team, 2025). Os dados foram submetidos a análise de componentes principais (PCA) com auxílio do pacote “factoextra” (KASSAMBARA; MUNDT, 2020), com o objetivo de verificar a relação entre as variáveis e os microrganismos.

3. RESULTADOS

3.1. Parâmetros biométricos

O uso da bioestimulação resultou em aumentos significativos nas variáveis biométricos em comparação com o tratamento controle padrão, 100% de adubação (fig. 1).

Fig. 1 - Maços de coentro *Coriandrum sativum* L. cv Taboca aos 40 dias após o semeio, bioestimulados com fungos nativos da Amazônia associados a 50% de adubação



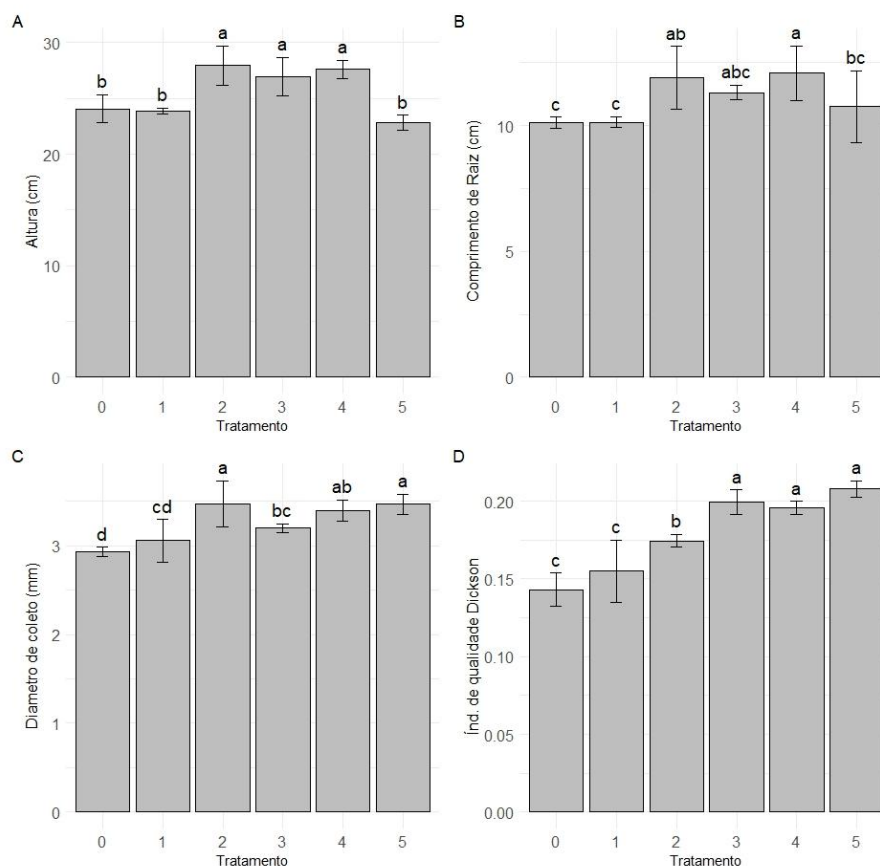
Fonte: o autor (2025)

Na análise da massa fresca da raiz (fig. 2a), o tratamento com *B. bassiana* obteve maior resultado em crescimento, 41,9%. Os outros tratamentos também apresentaram resultados positivos, embora em menor escala: o tratamento com *M. anisopliae* teve aumento de 24,72%, *Trichoderma* de 22,47% e o Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*) 21,35%, em relação ao tratamento controle padrão da área com 100% da adubação orgânica.

Na massa seca das raízes (fig. 2b), o *M. anisopliae* e o *B. bassiana* foram os mais eficazes, apresentando aumentos significativos de 53,25% e 52,12%, respectivamente. O tratamento com o Mix e o tratamento com *T. asperellum*

também demonstraram resultados significativos, com crescimento de 43,17% e 29,78 respectivamente, em comparação ao controle 100%.

Fig. 2 - Variáveis morfométricas em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Massa fresca da raiz (A), massa seca da raiz (B), massa fresca comercial da parte aérea (C), massa seca da parte aérea (D)



*Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Tratamentos: 0 (100% adubação); 1 (50% adubação); 2 (50% adubação + *T. asperellum*); 3 (50% adubação + *M. anisopliae*); 4 (50% adubação + *B. bassiana*); 5 (50% adubação + Mix (*M. anisopliae* + *B. Bassiana*)).

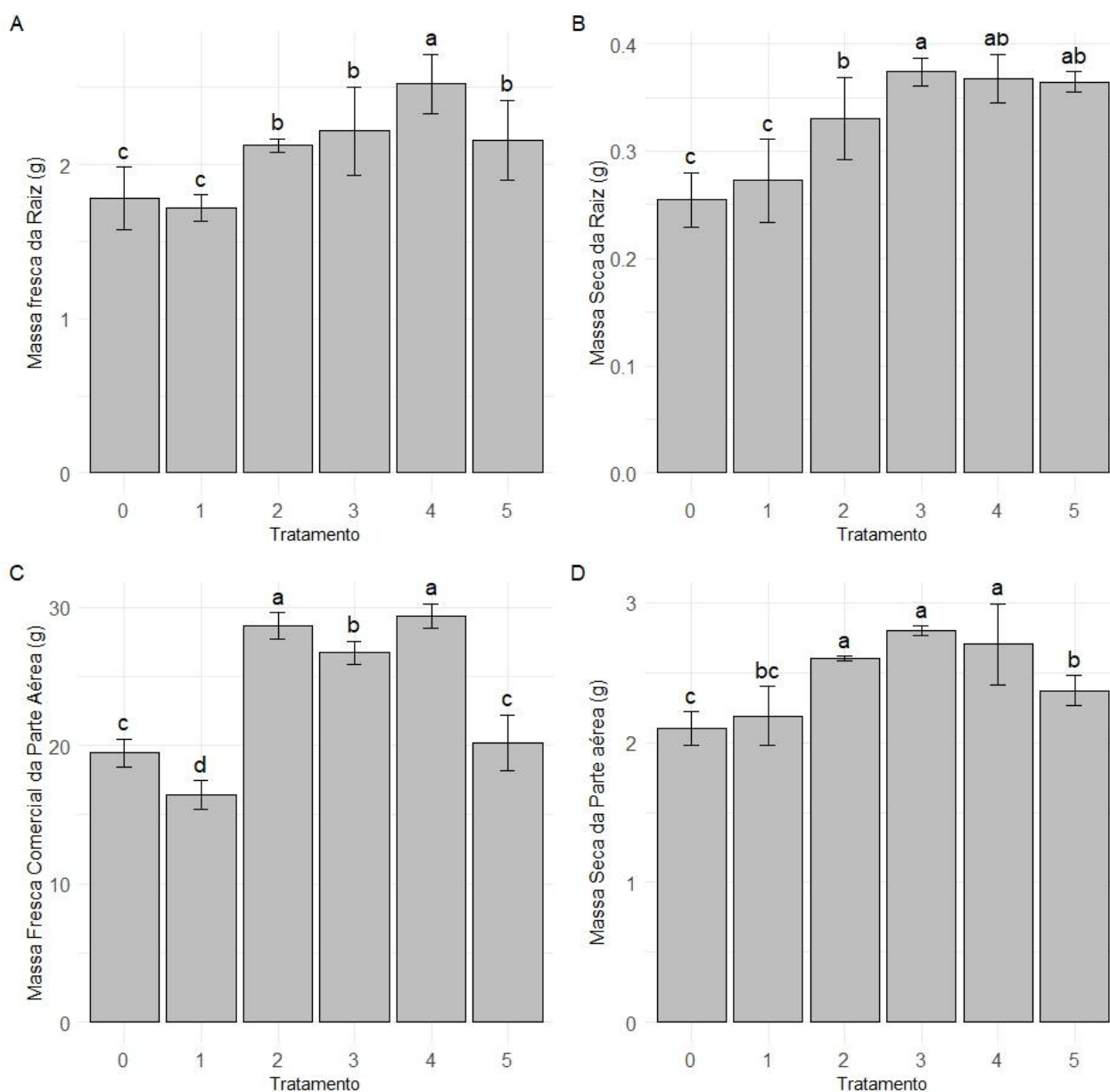
A massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) mostrou respostas significativas aos tratamentos, com a aplicação de *Beauveria*, *Trichoderma* e *Metarhizium* resultando nos maiores incrementos, de 78,74%, 74,54% e 62,61% respectivamente, quando comparadas ao controle 100% (fig. 2c)

Em relação à massa seca da parte aérea (MSPA), os tratamentos bioestimulados com aplicação *M. anisopliae*, *B. bassiana* e *T. asperellum* se destacaram, com incremento de 34,78, 28,47% e 24,76% respectivamente, em comparação com o tratamento controle padrão com 100% de adubo orgânico (Fig. 2d).

A altura das plantas foi influenciada positivamente pelos tratamentos que consistiram na utilização do bioestimulante, exceto o Mix (*M. anisopliae* + *B. Bassiana*), resultando em incremento médio de 14,31% na altura das

plantas, em relação ao tratamento padrão que recebeu 100% de adubo orgânico (Fig. 3a). A bioestimulação não apresentou diferenças relevantes no comprimento das raízes (Fig. 2f).

Fig. 3 - Parâmetros morfométricos em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Altura (A), comprimento de raiz (B), diâmetro de coleto (C), índice de qualidade Dickson (D)



*Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Tratamentos: 0 (100% adubação); 1 (50% adubação); 2 (50% adubação + *T. asperellum*); 3 (50% adubação + *M. anisopliae*); 4 (50% adubação + *B. bassiana*); 5 (50% adubação + Mix (*M. anisopliae* + *B. Bassiana*)).

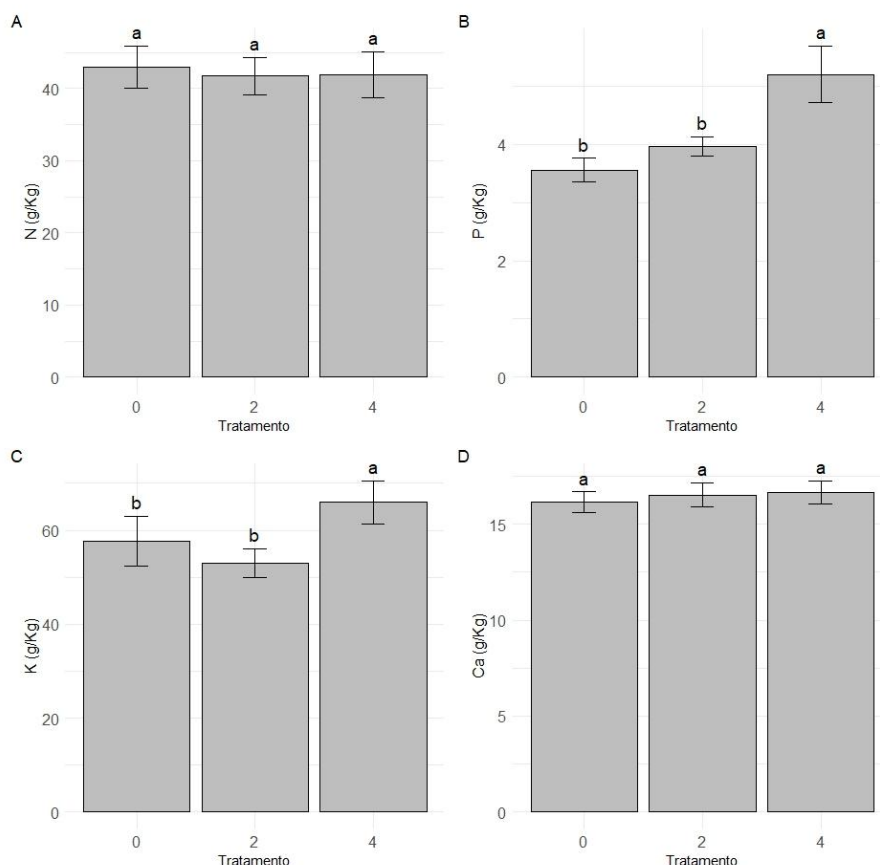
O diâmetro do coleto (DC) foi positivamente influenciado pelo tratamento com 50% da adubação orgânica e inoculação com *T. asperellum* e o Mix. Este tratamento resultou em diâmetro 18,39% e 18,26%, respectivamente, em comparação com o tratamento de 100% de adubação orgânica (Fig. 3c).

O índice de qualidade Dickson (fig. 3d), apresentou os melhores resultados nos tratamentos bioestimulados com *M. anisopliae*, *B. bassiana* e o Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*), com aumentos médios de 41,82%, e o *T. asperellum* em 22,48%, em relação ao controle 100%.

3.2. Análise nutricional

Os resultados para Ferro (Fe) e Fósforo (P) indicaram padrão de aumento significativos, principalmente pelo tratamento com *B. bassiana*, sugerindo que a eficácia na absorção ou na exploração desses nutrientes no solo, havendo incrementos de 90% e 46,07% respectivamente, em comparação ao tratamento controle 100% (fig. 4b, fig 5b).

Fig. 4 - Análise nutricional em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Nitrogenio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Cálcio (D)

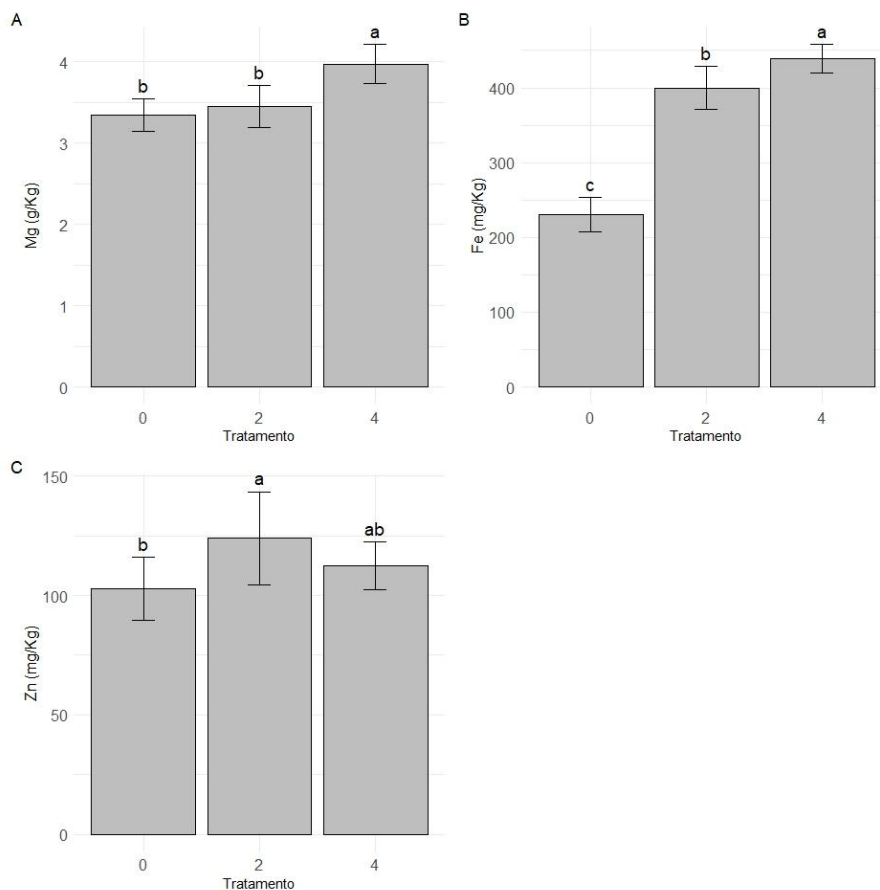


*Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Tratamentos: 0 (100% adubação); 2 (50% adubação + *T. asperellum*); 4 (50% adubação + *B. bassiana*).

Outros nutrientes essenciais, como o Magnésio (Mg) e o Potássio (K), o tratamento controle e o tratamento com *T. asperellum* não diferiram entre si. Porém, o tratamento com *B. bassiana* promoveu concentração estatisticamente

superior, tendo incremento de 18,86% e 14,37% respectivamente. O zinco (Zn), no tratamento com *T. asperellum* resultou concentração mais altas, superando o tratamento controle padrão, com aumento em 20,46% (fig. 5c).

Fig. 5 - Análise nutricional em plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia. Magnésio (A), Ferro (B), Zinco (C)



*Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Tratamentos: 0 (100% adubação); 2 (50% adubação + *T. asperellum*); 4 (50% adubação + *B. bassiana*).

Em contraste com a maioria dos elementos, o Cálcio (Ca) e o Nitrogênio (N) não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Esta uniformidade implica que, a bioestimulação não exerceu influência significativa na absorção ou exploração mais eficiente para cálcio e magnésio nas plantas de coentro (fig. 4a.).

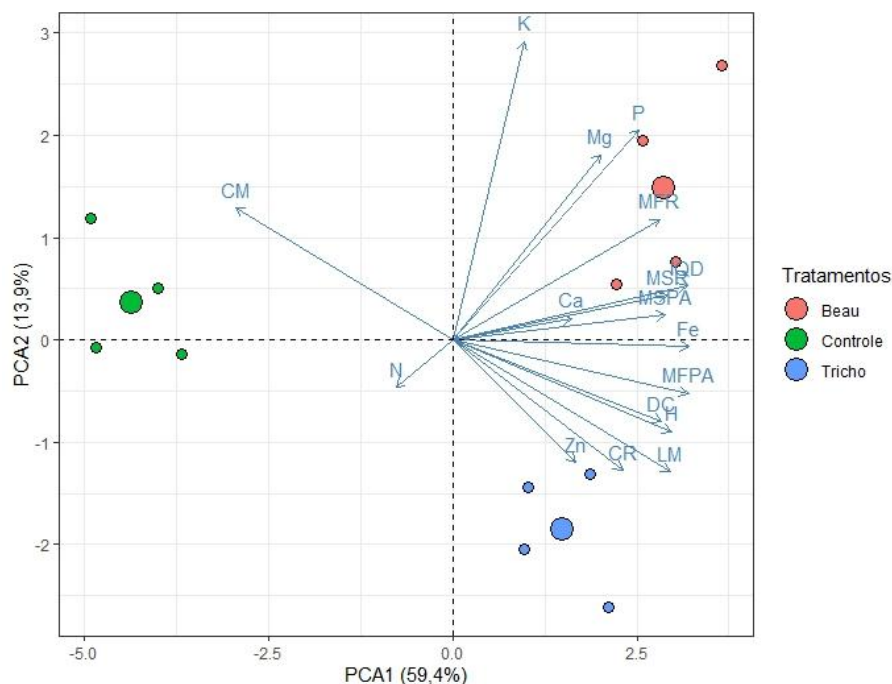
3.3. Análise de componentes principais

A distinção entre os grupos torna-se evidente no Biplot (fig. 6), retendo total de 73,3% da variância acumulada. O tratamento com *B. bassiana* agrupa-se no quadrante superior direito, associando-se diretamente aos vetores de massa seca e fresca da raiz (MFR, MSR), o IQD e a absorção de macronutrientes P, K e Mg. Esta concentração confirma que a *B. bassiana* foi o tratamento mais eficaz em otimizar o desempenho do sistema radicular. Por outro lado, o tratamento *T. asperellum* está mais correlacionado com variáveis que expressam o vigor morfológico da parte aérea, como altura (H) e diâmetro de coleto (DC), além de maior absorção do micronutriente zinco (Zn) e cálcio (Ca) e maior lucratividade. Por

fim, o Tratamento Controle encontra-se isolado no quadrante esquerdo, distanciado da maioria dos vetores de alta performance, demonstrando que a bioestimulação foi capaz de melhorar as características agronômicas do coentro.

A baixa contribuição do Nitrogênio (N) em ambas as dimensões sugere que este elemento não foi o fator primário que causou a variância observada na resposta fenotípica da cultura.

Fig. 6 - Análise de Componentes principais das características agronômicas do coentro de plantas de coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia.

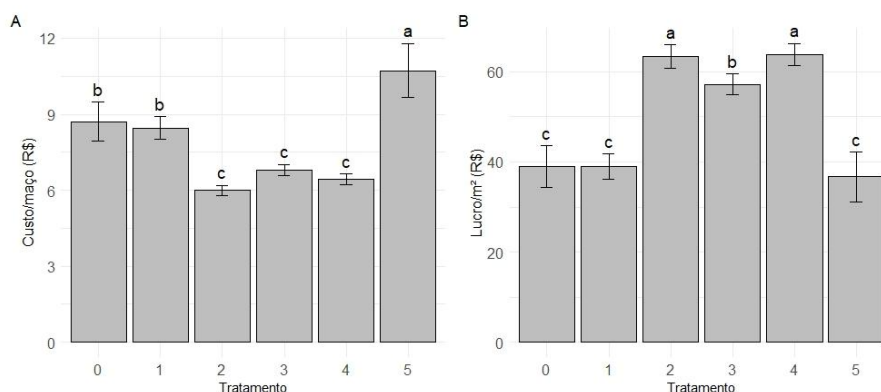


N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Fe: ferro; Zn: zinco; MFPA: massa fresca da parte aérea; MSPA: massa seca da parte aérea; MFR: massa fresca da raiz; MSR: massa seca da raiz; CR: comprimento de raiz; DC: diâmetro de coleto; H: altura; IQD: índice de qualidade dickson;

3.4. Parâmetros econômicos

Os tratamentos com bioestimulantes demonstraram potencial para aumentar a rentabilidade do produtor. Especificamente, os tratamentos que combinaram 50% da adubação com *T. asperellum*, *M. anisopliae*, *B. bassiana*, os quais resultaram na redução dos custos de produção de um pacote de 1kg de coentro em aproximadamente 23,3%, 13,04% e 17,77%, respectivamente (Fig. 7a), quando comparadas aos tratamentos controles.

Fig. 7 - Análise econômica de custos de produção e lucro por m² do coentro *Coriandrum sativum* L. cv. Taboca bioestimuladas com fungos nativos da Amazônia



*Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Tratamentos: 0 (100% adubação); 1 (50% adubação); 2 (50% adubação + *T. asperellum*); 3 (50% adubação + *M. anisopliae*); 4 (50% adubação + *B. bassiana*); 5 (50% adubação + Mix (*M. anisopliae* + *B. bassiana*)).

Com a redução aos custos de produção, associadas ao aumento da produtividade, houve aumento significativo no lucro do produtor, quando aplicados os bioestimulantes a base de *T. asperellum*, *M. anisopliae* e *B. bassiana*, obtendo aumentos de 41,77%, 27,98% e 42,71%, respectivamente, em relação ao tratamento controle 100% (fig. 7b).

4. DISCUSSÃO

O uso de microrganismos na agricultura urbana e periurbana vem ganhando destaque nos últimos anos, especialmente com o uso de bioinsumos a base de fungos, como *M. anisopliae* e *B. bassiana*, conhecidos, tradicionalmente, pelo potencial entomopatogênico, e *T. asperellum*, reconhecido por estimular o crescimento vegetal e controle de doenças de plantas (KOUR et al., 2020; VISHWAKARMA et al., 2020). Esses organismos, possuem dupla aptidão agrícola, ou seja, são multifuncionais, pois, além de serem estudados para o controle biológico de pragas, vem ganhando destaque pelo potencial de promover o crescimento de culturas agrícolas, consolidando-se como ferramentas essenciais para uma agricultura mais sustentável e eficiente (SILVA et al., 2025)

A inoculação dos fungos amazônicos *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*, quando associados a 50% da adubação orgânica, demonstraram resultados promissores, promovendo incrementos significativos em diversas variáveis biométricas avaliadas. Entre esses parâmetros, destacam-se a altura das plantas, o diâmetro do coleto, a massa fresca de folhas e raízes, e a massa seca de folhas e raízes.

Além dos parâmetros biométricos, o índice de qualidade Dickson (DQI) também demonstrou resultados significativos, com destaque para o tratamento com *B. bassiana* e *T. asperellum*, que apresentaram os melhores desempenhos na maioria dos índices avaliados, evidenciando seu potencial no estímulo ao crescimento e desenvolvimento vegetal e melhoria na qualidade.

Em trabalho realizado com *Arabidopsis* e milho (*Zea mays* L.), foi observado que a associação endofítica com fungo *M. anisopliae*, resultaram em incrementos significativos nas variáveis biométricas, obtendo melhores resultados em plantas que receberam o bioestimulante, corroborando com os dados encontrados nessa pesquisa (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2022).

Além disso, pesquisa realizada com a relação endofítica do *Metarhizium* e *Trichoderma* promotores de crescimento em plantas de tomate, foi constatado que houve incremento na parte aérea da planta três vezes o valor dos tratamentos sem os bioestimulantes, além de serem capazes de aumentar a resistência ao estresse salino e aumentarem significativamente a produção de frutos em condição de estiagem quando comparadas ao tratamento não bioestimulado (MORSY; CLECKLER, BLAKEARMUELLES-MILLICAN, 2020).

O potencial do gênero *Trichoderma* como agente biostimulante é amplamente reconhecido, estimulando incrementos biométricos observado. Em trabalho realizado por Khan e Parveen (2018), utilizando a cultura do coentro, demonstrou que a aplicação de *Trichoderma* resultou em melhorias significativas nos atributos de crescimento e rendimento, inclusive sob condições de estresse biótico. A eficácia reportada para *T. viride* em promover o crescimento reforça a dupla aptidão característico a este gênero. A convergência dos dados, onde a inoculação com *T. asperellum* também otimizou o desenvolvimento vegetal, sugere um mecanismo de ação conservado do gênero *Trichoderma* na modulação positiva do crescimento em *C. sativum*, justificando o aumento de biomassa e do Índice de Qualidade Dickson (DQI).

Entretanto, a ação biostimulante dos fungos entomopatogênicos (*M. anisopliae* e *B. bassiana*) como agentes promotores de crescimento, foi evidenciado por Ferreira *et al.* (2024) na cultura do jambu (*Acmella oleracea*) na região Amazônica, onde os bioestimulantes promoveram aumento expressivo na produção de massa fresca e seca. Adicionalmente, o efeito de promoção de crescimento foi confirmada por Liu *et al.* (2022) em milho (*Zea mays*), no qual a inoculação de *B. bassiana* e *M. anisopliae* gerou incrementos substanciais em índices de crescimento da parte aérea e radicular.

O incremento nos teores foliares dos macronutrientes Magnésio (Mg), Fósforo (P) e Potássio (K), juntamente com os micronutrientes Ferro (Fe) e Zinco (Zn), confirmam a eficácia dos fungos bioestimulantes na otimização da absorção nutricional do coentro. Fisiologicamente, o Mg e o P formam a base do metabolismo energético: o Mg é o átomo central da clorofila e cofator da enzima rubisco, enquanto que o P é o componente chave do ATP (TAIZ *et al.*, 2017). Essa dupla otimização garante que o coentro maximize a captação de luz e a subsequente síntese de biomassa.

O incremento nos teores foliares de macronutrientes (P, K, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn) no coentro, está alinhado com as características dos microrganismos como agentes otimizadores da qualidade nutricional. O gênero *Trichoderma*, em particular, tem demonstrado a capacidade de modular a absorção de nutrientes, melhorando a qualidade final do coentro. (ALI *et al.*, 2022)

Rouphael *et al.* (2020) investigaram a aplicação de *Trichoderma virens* em alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes regimes de nitrogênio. O estudo não apenas confirmou a promoção de crescimento (propriedades agrônomicas e fisiológicas), mas também revelou melhorias significativas nas propriedades qualitativas da alface. Os autores constataram um aumento nos teores de macro e micronutrientes foliares, com destaque para o Potássio (K), além de um incremento na concentração de compostos promotores de saúde, como clorofilas e carotenoides, e uma redução no teor de nitrato.

A absorção elevada de Potássio possivelmente contribui para o manejo de estresse abiótico e o transporte. Sendo o principal cátion envolvido na regulação osmótica e no controle do mecanismo estomático, o K confere à planta melhor eficiência no uso da água e otimiza o transporte de fotoassimilados para os locais de crescimento (VILELA; BÜLL, 1999). Com isso, o aumento nos micronutrientes Fe e Zn sustenta o aprimoramento do metabolismo redox e a expansão da área foliar, evidenciando um crescimento vegetativo mais vigoroso (KAUR; GARG, 2021; PAL; SINGH; DHALIWAL, 2021).

A correlação entre a atividade biológica do solo e a qualidade nutricional da planta é amplamente reportada. Estudos com *Coriandrum sativum* indicaram que o uso de fertilizantes orgânicos, como o vermicomposto e ácidos húmicos, que são capazes de aumentar a atividade biológica do solo, elevaram significativamente os teores foliares de P, K, Fe e Zn na cultura (RASOULI *et al.*, 2022), o que confirma o princípio de que a saúde do solo impulsiona diretamente o estado nutricional e o vigor da cultura. Assim, os fungos demonstraram ser uma estratégia biotecnológica eficiente que, ao potencializar a atividade biológica da rizosfera, resulta em crescimento superior e em perfil nutricional otimizado para plantas de coentro na agricultura periurbana da Amazônia.

Os incrementos na qualidade e produtividade do coentro podem estar associados à capacidade endofítica dos fungos nativos da Amazônia, os quais possuem a habilidade de estimular o hospedeiro a biossintetizar hormônios vegetais, como a auxina, além de potencializar a eficiência na absorção de nutrientes provenientes do solo pela promoção do sistema radicular e liberação de ácidos orgânicos e compostos quelantes na rizosfera (SERRI; SOURI; REZAPANAH, 2021; YAN *et al.*, 2019). Dentre os efeitos diretos, ocorrem também benefícios indiretos que a associação endofítica pode proporcionar para a planta, dentre eles, estão relacionados a capacidade de estimular a produção de metabólitos secundários, como os alcaloides e esteroides, proteção contra estresses bióticos e abióticos, incrementos na resistência sistêmica e estimular a produção de sideróforos (BARON; RIGOBELLO, 2022).

A análise econômica, demonstrou que a utilização de fungos promotores de crescimento nativos da Amazônia, possuem grande potencial econômico, por serem capazes de reduzir a quantidade de adubo orgânico utilizado pelo produtor e aumentar de maneira significativa a produtividade e o lucro da área, corroborando com os resultados encontrados por Silva (2024), no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.), onde demonstrou aumento de 31% de lucro, quando associado a utilização de fungos nativos da Amazônia em 50% da adubação orgânica.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de bioestimulantes com *B. bassiana*, *T. asperellum* e *M. anisopliae* são eficazes para estímulo ao crescimento de plantas de coentro *Coriandrum sativum*, permitindo redução em 50% na necessidade de adubação orgânica e aumentar a produtividade e lucratividade do agricultor.

Em plantas de coentro foi possível evidenciar que a bioestimulação é capaz de melhorar as características agrônomicas e nutricionais, pois o fungo *B. bassiana* é eficaz em otimizar o sistema radicular e o acúmulo de P, Fe, Mg e K e *T. asperellum* favorece a parte aérea, como altura (H) e diâmetro de coleto (DC), além de maior absorção dos micronutrientes zinco (Zn) e cálcio (Ca).

A combinação de 50% da adubação + *T. asperellum*, é a mais recomendada para o cultivo de plantas de coentro cv. Taboca, pois otimizam os índices biométricos relacionados a parte aérea e a lucratividade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S. et al. *Trichoderma harzianum* Modulates Phosphate and Micronutrient Solubilization in the Rhizosphere. **Gesunde Pflanzen**, 8 abr. 2022.

BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. **Mycology**, vol. 13, no. 1, p. 39–55, 2022. DOI 10.1080/21501203.2021.1945699. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699>.

BULGARI, R.; FRANZONI, G.; FERRANTE, A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. **Agronomy**, vol. 9, no. 6, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>.

- COSTA, D.; WALSH, É.; DIELI, C.; O'HALLORAN, O.; AWAN, Z. A.; GARGAN, A.; LANDETA-MANZANO, B.; PRIYADARSHINI, A.; FOLEY, L.; GAFFNEY, M. T.; WALSH, L. Impact of biostimulant use in agricultural crops (strawberries, leafy greens and mushrooms) under different horticultural cropping systems: A systematic review. **Annals of Applied Biology**, 1 Nov. 2025. <https://doi.org/10.1111/aab.70021>.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock innurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.
- DROBEK, M.; FRĄC, M.; CYBULSKA, J. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress-a review. **Agronomy**, vol. 9, no. 6, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>.
- FERREIRA, T. da C.; DOS SANTOS, G. R.; DE MORAES, A. J. G.; SANTOS, F. de S.; MENDONÇA, D. P.; DA SILVA, M. Y. F.; DE CASTRO, G. L. S.; BATISTA, T. F. V. Microorganisms as growth promoters of *Acmella oleracea* grown under different cultivation systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 28, no. 7, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n7e278862>.
- FRANZONI, G.; COCETTA, G.; PRINSI, B.; FERRANTE, A.; ESPEN, L. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. **Horticulturae**, vol. 8, no. 3, 1 Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, E.; ORTEGA-AMARO, M. A.; BAUTISTA, E.; DELGADO-SÁNCHEZ, P.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* enhances *Arabidopsis*, tomato, and maize plant growth. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 176, no. January, p. 34–43, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.02.008>.
- HIREMATH, R.; HOSAMATH, J. V.; SRINIVASULU, B.; HEGDE, R. V. Trends, Innovations, and Sustainable Practices in Coriander Production: A Global Perspective. **Journal of Scientific Research and Reports**, vol. 31, no. 5, p. 891–907, 17 May 2025. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i53085>.
- Kassambara, A. and Mundt, F. (2020) Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R Package Version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- KAUR, H.; GARG, N. Zinc toxicity in plants: a review. **Planta**, vol. 253, no. 6, 1 Jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03642-z>.
- KHAN, M. R.; PARVEEN, G. Supplementing biocontrol agents with botanicals improved growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) infected with *Protomyces macrosporus* Unger. **Current Plant Biology**, vol. 15, p. 44–50, 1 Nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.10.005>.
- KOUR, D. et al. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 23, p. 101487, jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>
- LI, J.; VAN GERREWEY, T.; GEELLEN, D. A Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials. **Frontiers in Plant Science**, vol. 13, 14 Apr. 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836702>.
- LIU, Y.; YANG, Y.; WANG, B. Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter. **Scientific Reports**, vol. 12, no. 1, 1 Dec. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19899-7>.
- MORSY, M.; CLECKLER, BLAKEARMUELLES-MILLICAN, H. Fungal Endophytes Promote Tomato Growth and Enhance Drought and Salt Tolerance. **Plants**, 2020. .
- NAIR, R.; SHARMA, A.; PANDEY, S. Assessment of nitrogen application and row spacing on growth and yield attributes of coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Vegetable Science**, vol. 49, p. 113–115, 2022. .
- PAL, V.; SINGH, G.; DHALIWAL, S. S. A New Approach in Agronomic Biofortification for Improving Zinc and Iron Content in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Grain with Simultaneous Foliar Application of Zinc Sulphate, Ferrous Sulphate and Urea. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, vol. 21, no. 2, p. 883–896, 1 Jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00408-0>.
- PÓVOA, O.; FARINHA, N.; LOPES, V.; MACHADO, A. M.; FIGUEIREDO, A. C. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) from Alentejo (South Portugal)—Ethnobotany and Potential Industrial Use. **Foods**, vol. 13, no. 6, 1 Mar. 2024.

<https://doi.org/10.3390/foods13060929>.

RASOULI, F.; NASIRI, Y.; ASADI, M.; HASSANPOURAGHDAM, M. B.; GOLESTANEH, S.; PIRSARANDIB, Y. Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L. **Scientific Reports**, vol. 12, no. 1, 1 Dec. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11555-4>.

Posit team (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.

ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P.; COLLA, G.; FIORENTINO, N.; SABATINO, L.; EL-NAKHEL, C.; GIORDANO, M.; PANNICO, A.; CIRILLO, V.; SHABANI, E.; COZZOLINO, E.; LOMBARDI, N.; NAPOLITANO, M.; WOO, S. L. Appraisal of combined applications of trichoderma virens and a biopolymer-based biostimulant on lettuce agronomical, physiological, and qualitative properties under variable n regimes. **Agronomy**, vol. 10, no. 2, 1 Feb. 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020196>.

SANTOS, H. G. dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p

SERRI, F.; SOURI, M. K.; REZAPANAH, M. Growth, biochemical quality and antioxidant capacity of coriander leaves under organic and inorganic fertilization programs. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, vol. 8, no. 1, 1 Dec. 2021. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00232-9>.

SILVA, J. L. Fungos nativos da amazônia como indutores de crescimento na cultura de *Lactuca sativa* L. na agricultura periurbana. 2024. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de PósGraduação em Agronomia (Pgagro), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, 2024.

SILVA, P. *et al.* Co-Cultivations of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Trichoderma harzianum* to Produce Bioactive Compounds for Application in Agriculture. **Fermentation**, v. 11, n. 1, p. 30–30, 14 jan. 2025.

SUN, W.; SHAHRAJABIAN, M. H.; SOLEYMANI, A. The Roles of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)-Based Biostimulants for Agricultural Production Systems. **Plants**, vol. 13, no. 5, 1 Mar. 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13050613>.

TAIZ, L.; ZEIGER IAN MAX MØLLER, E.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ª Edição**. 6th ed. 2017.

VILELA, E. F.; BÜLL, L. T. **AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO E ESTRESSE HÍDRICO (1)**. 1999.

VISHWAKARMA, K. *et al.* Revisiting Plant–Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, 21 dez. 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406>

YAN, L.; ZHU, J.; ZHAO, X.; SHI, J.; JIANG, C.; SHAO, D. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, vol. 103, no. 8, p. 3327–3340, 2 Apr. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09713-2>.

ZULFIQAR, F.; CASADESÚS, A.; BROCKMAN, H.; MUNNÉ-BOSCH, S. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. **Plant Science**, vol. 295, 1 Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>.