



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

ADILON MARTINS ROCHA

**CONTROLE BIOLÓGICO DE *Meloidogyne incognita* EM ALFACE ASSOCIADO À PROMOÇÃO DE
CRESCIMENTO POR MICROORGANISMOS**

GURUPI-TO

2025

ADILON MARTINS ROCHA

**CONTROLE BIOLÓGICO DE *Meloidogyne incognita* ASSOCIADO À PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO
EM ALFACE POR MICROORGANISMOS ANTAGONISTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Produção vegetal pela Universidade Federal do Tocantins (UFT),
como requisito à obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Dr. Aloisio Freitas Chagas Junior

GURUPI-TO

2025

FICHA CALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M386c Martins Rocha, Adilon.
CONTROLE BIOLÓGICO DE *Meloidogyne incognita* ASSOCIADO À
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM ALFACE POR MICRORGANISMOS
ANTAGONISTAS. / Adilon Martins Rocha. – Gurupi, TO, 2025.
68 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins –
Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Produção Vegetal, 2025.
Orientador: Aloísio Freitas Chagas Júnior
1. Alface. 2. Fitonematoides. 3. Controle Biológico. 4. Microrganismos
benéficos. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ADILON MARTINS ROCHA

**CONTROLE BIOLÓGICO DE *Meloidogyne incognita* ASSOCIADO À PROMOÇÃO DE
CRESCIMENTO EM ALFACE POR MICRORGANISMOS ANTAGONISTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Foi avaliado para obtenção do título de Mestre (a) em Produção Vegetal e aprovado (a) em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Aloísio Freitas Chagas Júnior, UFT

Prof. Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento, UFT

Prof. Dr. José Fábio França Orlanda, UEMASUL

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que com sua infinita misericórdia me conduziu em toda a jornada. À minha família por ser meu porto seguro nos momentos difíceis. Ao meu orientador por ser o suporte necessário e um grande apoiador e incentivador.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela saúde e pela força para seguir firme diante dos desafios desta caminhada.

À minha família, em especial minha mãe Alessandra Martins e minha irmã Adilene Martins pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis, quando precisei me ausentar para me dedicar inteiramente a este trabalho.

Ao meu orientador, Aloísio Freitas pela orientação segura, paciência, incentivo e pelas contribuições que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço pela confiança depositada em mim e pelo exemplo de profissionalismo e dedicação à ciência.

Aos professores que participaram desta trajetória acadêmica, pelas valiosas lições transmitidas, pelo incentivo ao pensamento crítico e pelo conhecimento que levarei para minha vida profissional e pessoal.

Aos colegas de curso e do Laboratório AGROBIO, que se tornaram parceiros de caminhada, pelo companheirismo, pelas trocas de experiências, pelo apoio mútuo nos momentos de incerteza e pelas amizades construídas ao longo desta jornada.

Ao meu namorado João Pedro Pereira, pelo carinho, compreensão, incentivo e presença constante, mesmo quando a rotina acadêmica exigiu tanto do meu tempo e energia.

À instituição de ensino e a todos os colaboradores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, seja por meio do apoio técnico, administrativo ou pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Aos amigos de fora do ambiente acadêmico, em especial ao Victor Wilkson, pelas palavras de encorajamento e apoio; e à Hanrara Pires, pela ajuda com os dados. E também, aos demais amigos que me acompanharam nessa jornada, por compreenderem minhas ausências, celebrarem minhas pequenas conquistas e me lembrarem da importância de equilibrar dedicação e descanso.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade, deixo aqui minha mais profunda gratidão.

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, destacando-se pelo consumo *in natura*, pela importância nutricional e pelo papel econômico relevante para pequenos produtores familiares. Com área expressiva de cultivo no país, sua produção vem crescendo, impulsionada por práticas agrícolas sustentáveis que visam maior qualidade e segurança alimentar. O cultivo enfrenta sérios desafios fitossanitários, principalmente devido à incidência de nematoides-das-galhas (*Meloidogyne* spp.), que causam deformações nas raízes, comprometem o desenvolvimento radicular e reduzem a produtividade. O uso de microrganismos benéficos surge como alternativa promissora, aliando supressão de patógenos ao estímulo do crescimento vegetal, promovendo sistemas agrícolas mais sustentáveis. Com base nesse cenário, foram desenvolvidos dois trabalhos de pesquisa complementares. O primeiro teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes microrganismos aplicados de forma isolada no controle de *Meloidogyne incognita* e nos efeitos sobre o desenvolvimento da alface. Foram testados isolados de fungos e bactérias em condições de casa de vegetação, observando-se tanto os aspectos fitossanitários quanto parâmetros de crescimento vegetal. O segundo estudo buscou investigar o potencial do uso de consórcios microbianos, comparando a aplicação conjunta de diferentes microrganismos com os tratamentos isolados. Essa abordagem visou verificar possíveis efeitos sinérgicos, capazes de potencializar tanto o controle do nematoide quanto a promoção do desenvolvimento da cultura. Os resultados obtidos nos dois trabalhos evidenciaram que os microrganismos testados apresentaram potencial no manejo biológico de *M. incognita*, reduzindo a formação de galhas e contribuindo para o crescimento saudável das plantas. Além disso, observou-se que a utilização de consórcios microbianos pode ampliar os efeitos benéficos, demonstrando a viabilidade de integrar diferentes agentes de controle em estratégias de manejo sustentável. Dessa forma, a dissertação confirma a relevância do uso de microrganismos, isolados ou em combinação, como alternativa eficaz e ambientalmente responsável para o controle de nematoides na cultura da alface, contribuindo para a redução do uso de agroquímicos e fortalecendo práticas agrícolas sustentáveis no Brasil.

Palavras-chaves: *Lactuca sativae*; Fitonematoides; Controle Biológico.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most widely consumed leafy vegetables in Brazil, standing out for its fresh consumption, nutritional importance, and economic relevance for small family farmers. With a significant cultivated area in the country, its production has been increasing, driven by sustainable agricultural practices aimed at ensuring higher quality and food safety. However, lettuce cultivation faces serious phytosanitary challenges, mainly due to the incidence of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), which cause root deformations, compromise plant development, and reduce productivity, often rendering production areas unfeasible. Traditionally, the management of these phytoparasites relies on chemical control, which is not always efficient and often generates environmental impacts and undesirable residues. In this context, the use of beneficial microorganisms emerges as a promising alternative, combining pathogen suppression with the stimulation of plant growth, thus promoting more sustainable agricultural systems. Based on this scenario, two complementary studies were developed. The first aimed to evaluate the effectiveness of different microorganisms applied individually in the control of *Meloidogyne incognita* and their effects on lettuce development. Isolates of fungi and bacteria were tested under greenhouse conditions, assessing both phytosanitary parameters and plant growth characteristics. The second study investigated the potential of microbial consortia, comparing the combined application of different microorganisms with individual treatments. This approach sought to verify possible synergistic effects capable of enhancing both nematode control and plant development. The results obtained in both studies showed that the tested microorganisms demonstrated potential in the biological management of *M. incognita*, reducing gall formation and contributing to healthy plant growth. Furthermore, the use of microbial consortia enhanced the beneficial effects, demonstrating the feasibility of integrating different control agents into sustainable management strategies. Therefore, this dissertation confirms the relevance of using microorganisms, either individually or in combination, as an effective and environmentally responsible alternative for nematode management in lettuce cultivation, contributing to the reduction of agrochemical use and strengthening sustainable agricultural practices in Brazil.

Keywords: Lettuce; Root-knot nematodes; biological control.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Esquema do ciclo de vida de <i>Meloidogyne</i> spp. Fonte: Circular Técnica Embrapa Hortaliças.....	17
Figura 2 – Inoculação da solução contendo nematóides no colo da planta de alface.....	33
Figura 3 – Comprimento de raiz (CR) (A), diâmetro de caule (DC) (B) e diâmetro de cabeça (D.CAB.) (C) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos...36	
Figura 4 – Gráficos matéria fresca da aérea (MFPA) (D), matéria fresca da raiz (MFR) (E), matéria seca da parte aérea (MSPA) (F) e matéria seca da raiz (MSR) (G).....	38
Figura 5 – Número médio de galhas em plantas de alface com diferentes inoculações de diferentes microrganismos.....	41
Figura 6 – Presença de galha observada em lupa para contagem.....	42
Figura 7 – Presença de galha em diferentes locais nas raízes de alface.....	43
Figura 8 – Inoculação da solução contendo nematóides no colo da planta de alface.....	53
Figura 9 – Comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC) e diâmetro de cabeça (D.CAB) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos.....	56
Figura 10 – Matéria fresca da aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos.....	58
Figura 11 –Número médio de galhas em raízes de alface inoculadas com diferentes microrganismos.....	61
Figura 12 – Presença de galhas nas diferentes localizações das raízes de alface.....	61

LISTA DE TABELAS/QUADROS

Quadro 1. Diferentes produtos comerciais utilizados para controle de nematóides.....	17
Quadro 2. Diferentes formas de controle de algumas espécies de nematóides.....	20
Tabela 1. Caracterização dos microrganismos utilizados no controle biológico de <i>Meloidogyne incognita</i> em alface.....	31
Tabela 2. Comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), diâmetro de cabeça (D.CAB), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de alface com inoculação e diferentes microrganismos.....	35
Tabela 3. Influência dos tratamentos a base de fungos e bactérias testados na cultura da Alface para controle de nematoide-de-galhas, nas variáveis número médio de galhas (NMG), tamanho médio de galhas (TMG) e posicionamento de galhas (PG).....	40
Tabela 4. Influência dos tratamentos a base de fungos e bactérias testados na cultura da Alface nas variáveis comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), diâmetro de cabeça (D.CAB), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA).....	55
Tabela 5. Influência dos tratamentos a base de fungos e bactérias testados na cultura da Alface para controle de nematoide-de-galhas, nas variáveis número médio de galhas (NMG), tamanho médio de galhas (TMG) e posicionamento de galhas (PG).....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Cultura da alface.....	14
3.2 Fitonematoides, aspectos gerais.....	15
3.3 <i>Meloidogyne</i> spp.....	15
3.4 Manejo.....	17
3.4.1 Controle biológico.....	19
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
5 REFERENCIAS.....	24
<i>CAPITULO 1. Controle Biológico de <i>Meloidogyne incognita</i> associado à promoção de crescimento em alface por microrganismos antagonistas.....</i>	28
RESUMO.....	28
ABSTRATCT.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	30
2MATERIAL E METODOS	31
2.1 Obtenção e características dos microrganismos.....	31
2.2 Cultivo em meio liquido.....	32
2.3 Cultivo e multiplicação de nematoides <i>Meloidogyne incognita</i>	32
2.4 Condução do experimento.....	32
2.5 Análises estatísticas.....	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.1 Características Agronômicas.....	34
3.2 Avaliação para controle de Nematóides-das-galhas.....	39
4 CONCLUSÃO.....	44
5 REFERENCIA	44
<i>CAPITULO 2. Microrganismos no controle biológico de <i>Meloidogyne incognita</i> e promoção de crescimento vegetal em Alface.....</i>	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
1 INTRODUÇÃO.....	50
2MATERIAL E METODOS.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1 Características Agronômicas.....	54
3.2 Avaliação de controle de nematoides-das-galhas.....	60
4 CONCLUSÃO.....	63
5 REFERENCIAS	64

1. INTRODUÇÃO GERAL

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumidas no Brasil, com destaque para o seu consumo *in natura* e importância econômica para produtores familiares. Sua produção vem crescendo consistentemente, especialmente em regiões como Tocantins, onde são incentivadas tecnologias sustentáveis de cultivo que visam maior qualidade e segurança alimentar (Ferreira *et al.*, 2022). É uma aliada dos consumidores que buscam fazer dietas, pois é consumida fresca, sendo uma importante fonte de vitaminas, sais minerais e baixo valor calórico (COSTA & SALA, 2012; COMETTI *et al.*, 2004). É uma cultura que possui cultivares de diferentes tipos comerciais de texturas de folhas que podem agradar diferentes tipos de público. Com cerca de 85 mil hectares de área cultivada, o Brasil consegue produzir cerca de 1,5 milhão de toneladas por ano (EXAME, 2024).

As incidências de pragas e doenças se tornam comum em condições de monocultivo, acarretando problemas fisiológicos no desenvolvimento da planta de alface, nesse cenário os fitonematoides representam um risco na redução de produtividade (PINHEIRO, 2017). Ferreira *et al.* (2013) e Chagas *et al.* (2023) relatam que os danos causados por nematoides do gênero *Meloidogyne*, ocorrem com grande frequência no território nacional, pelo seu ato de parasitismo causam deformidades anatômicas das raízes das plantas, reduzindo a qualidade e quantidade na produção, podendo inviabilizar o cultivo em áreas que possuem grande incidência de infestação.

Para seu manejo, é necessário realizar diferentes estratégias de controle como: revolvimento do solo em seguida, realizar irrigação, pousio, inundação, solarização, adubação verde, rotação de cultura e também a resistência genética (CAPRONI *et al.*, 2012); no entanto o método tradicional e mais utilizado, é o controle químico, no qual nem sempre promove o nível de redução populacional satisfatório da praga, além de causar danos ambientais (pelo alto poder residual) e comprometer a qualidade de produção da alface comercializada.

Na busca de promover um manejo mais sustentável na produção agrícola, o uso de controle biológico auxilia bastante na redução de danos causados pelos nematoides; com a inoculação de fungos e bactérias, promovendo a supressão do nematoide e beneficiando a planta como promotores de crescimento vegetal (CARVALHO, 2017). Focado no aspecto fitossanitário, a adoção de microrganismos, como o *Trichoderma* nas aplicações agrícolas, demonstra impactos significativos na redução de custos e danos

durante o cultivo da alface, diminuindo a dependência de agrotóxicos, economizando nos recursos e apoiando o manejo mais sustentável (CHAGAS-JUNIOR *et al.*, 2024).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência dos isolados de fungos *Trichoderma* spp. e bactérias *Bacillus* spp. no controle de *Meloidogyne incognita* em plantas de alface no potencial como promotor de crescimento vegetal na cultura da alface.

Capítulo 1: Avaliar a atividade de controle biológico e promotora de crescimento vegetal de microrganismos antagônicos contra *M. incognita* na cultura da alface.

Capítulo 2: Avaliar a eficácia de diferentes microrganismos benéficos no controle de *Meloidogyne icognita* na cultura da alface, visando contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e eficientes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é de origem das regiões no Sul da Europa e da Ásia Ocidental; de clima temperado e se adapta bem em temperaturas mais amenas de 12 a 22 °C com dias mais longos (LOPES, 2002).

Ela é pertencente à família das *Asteraceae*, (subfamília *Cichorioideae*), é uma planta anual, do tipo herbácea, com caule curto e folhas que crescem formando uma roseta, podendo ser do tipo lisas ou crespas (sendo a crespa predominante no Brasil, chegando a 70% nos mercados), podendo formar ou não “cabeça”; possuem coloração roxa ou esverdeada (CARVALHO, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2011). O sistema radicular é ramificado e superficial chegando em média 20 cm de comprimento, se desenvolve melhor em solos com textura média e com pH entre 6,0 a 6,8 e saturação de base de 70% (FIGUEIRA, 2008; COSTA & SALA, 2012).

Produzida e bastante consumida ao redor do mundo, a alface representa mais da metade das hortaliças folhosas produzidas no País, seguida do repolho e couve. A China é o maior produtor com cerca de 23,6 milhões de toneladas – 52% da produção mundial, e o Brasil produzindo 1,5 milhão de toneladas (SCHWEGBER, 2021; ALMEIDA *et al.*, 2023). O consumo *per capita* está em média de 1,5k g ano⁻¹, representando um ótimo valor, pois a alface é rica em vitaminas A e C, ferro, fósforo e cálcio, que são elementos essenciais para uma alimentação humana mais saudável (EAEAGRÍCOLA, 2014). Mota *et al.* (2012) também relata a importância nutricional da alface, pois além de ser rica em fontes de vitaminas e minerais, possui baixo teor de calorias, ser fácil para digestão e é bastante recomendada para dietas alimentares ricas em fibras. Seu consumo tende aumentar pela crescente procura de alimentos mais saudáveis consumidos pela população em busca de alcançar uma melhor qualidade de vida.

Fitonematoides, aspectos gerais

Os nematoides em geral estão entre os principais patógenos que trazem prejuízos significativos na agricultura mundial, seja na parte econômica, quanto no cultivo vegetal, danificando o sistema radicular, prejudicando o florescimento e trazendo sintomas específicos que podendo ser confundidas muitas vezes com deficiência nutricional (LOPES *et al.*, 2017).

São organismos microscópicos que afetam diversas culturas agrícolas ao parasitar raízes e outros tecidos vegetais da planta, reduzindo o desenvolvimento vegetal e a produtividade de cultivo; além de causar prejuízos ao se alimentarem do conteúdo celular,

acarretando alterações fisiológicas e estruturais que comprometem a absorção de água e nutriente pela planta (ALMEIDA *et al.*, 2011; CHAGAS *et al.*, 2023).

Na sua anatomia, os fitonematoides apresentam um estilete no seu aparelho bucal, que é responsável para sua condição de parasitar; induzindo o estilete nas raízes das plantas, retiram substâncias nutritivas e, conseqüentemente, injetam substâncias tóxicas, provocando modificações que acarretam a redução do desenvolvimento vegetativo e a sua produção. Além disso, as plantas que sofrem o ataque dos fitonematoides, ficam enfraquecidas e, ocasionalmente têm o sistema radicular mais sensível às infecções secundárias por fungos e bactérias (CHARCHAR, 1999).

Entre os gêneros que são mais prejudiciais, podemos destacar *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Heteroda*, *Rotylenchus* e *Radopholus*, quem possuem uma ampla gama de culturas hospedeiras, incluindo hortaliças, cereais e frutíferas. O gênero *Meloidogyne*, especificamente o nematóides de galhas, está entre os mais destrutivos, que causam deformações nas raízes, facilitando a entrada de patógenos secundários e agravando danos às plantas, sendo estes advindo da ação tóxica de substâncias que os nematóides injetam na planta, destruindo células, induzindo a formação de galhas ou transformando células normais em células nutridoras, já que eles desviam para a sua nutrição, os elementos que seriam destinados para alimentar conteúdo celular. (OLIVEIRA, 2007).

3.3 *Meloidogyne* spp.

Oliveira (2016) ressalva que no Brasil existem dezenas de fitonematoides, e a grande maioria estão associadas às hortaliças, mais precisamente o gênero *Meloidogyne*, que são os mais preocupantes economicamente no país; por razões de elevada capacidade reprodutiva, por possuir ampla disseminação e distribuição, além de elevada gama de hospedeiros, na qual se enquadram a maioria das plantas cultivadas de valor econômico, que tem destaque às hortaliças. Para áreas destinadas à esta cultura, os maiores problemas são atribuídos aos nematóides de galhas, *Meloidogyne* spp., devido ao grande poder destrutivo e sua ampla distribuição geográfica. No Brasil, os danos são causados pelas espécies *M. incognita* e *M. javanica*, pelas frequências que ocorrem nas regiões produtoras (ROSA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2006. PINHEIRO, 2017).

O ciclo de vida da espécie *M. incognita* (Figura 1) tem início com a postura de ovos, dentro dos quais ocorre o desenvolvimento embrionário, originando o juvenil de primeiro estágio (J1). Nessa fase inicial, o seu sistema reprodutivo ainda não está formado; o J1 passa pela primeira ecdise ainda no interior do ovo, processo no qual ocorre

a troca de cutícula. Após essa muda, forma-se o juvenil de segundo estágio (J2), que utiliza seu estilete para perfurar a casca do ovo e eclode; nesse estágio ele é móvel e desloca-se no solo em busca de uma planta hospedeira e, ao encontrar a raiz, o J2 penetra no tecido radicular e estabelece o sítio de alimentação, liberando secreções das glândulas esofágicas, que induzem modificações fisiológicas e estruturais nas células vegetais.

Essas alterações incluem hipertrofia celular, seguida de hiperplasia, resultando na formação de células gigantes e, conseqüentemente, no surgimento de galhas (sintomas típicos da infestação por nematóides do gênero *Meloidogyne*). Após a penetração na raiz e o estabelecimento no sítio alimentar, o J2 passa por mais duas ecdises, evoluindo para estágios juvenis de terceiro (J3) e quarto (J4); com a última muda, o J4 atinge a fase adulta, diferenciando-se em machos e fêmeas. As fêmeas assumem um formato globoso e permanecem fixas dentro das raízes, enquanto os machos, de forma vermiforme, migram de volta para o solo. O ciclo pode durar de 4 a 8 semanas, dependendo das condições ambientais; onde temperaturas superiores a 40 °C ou inferiores a 5 °C podem reduzir significativamente a atividade metabólica do patógeno ou até mesmo provocar a sua paralisação temporária (FERRAZ, 2001; FERRAZ *et al.*, 2010).

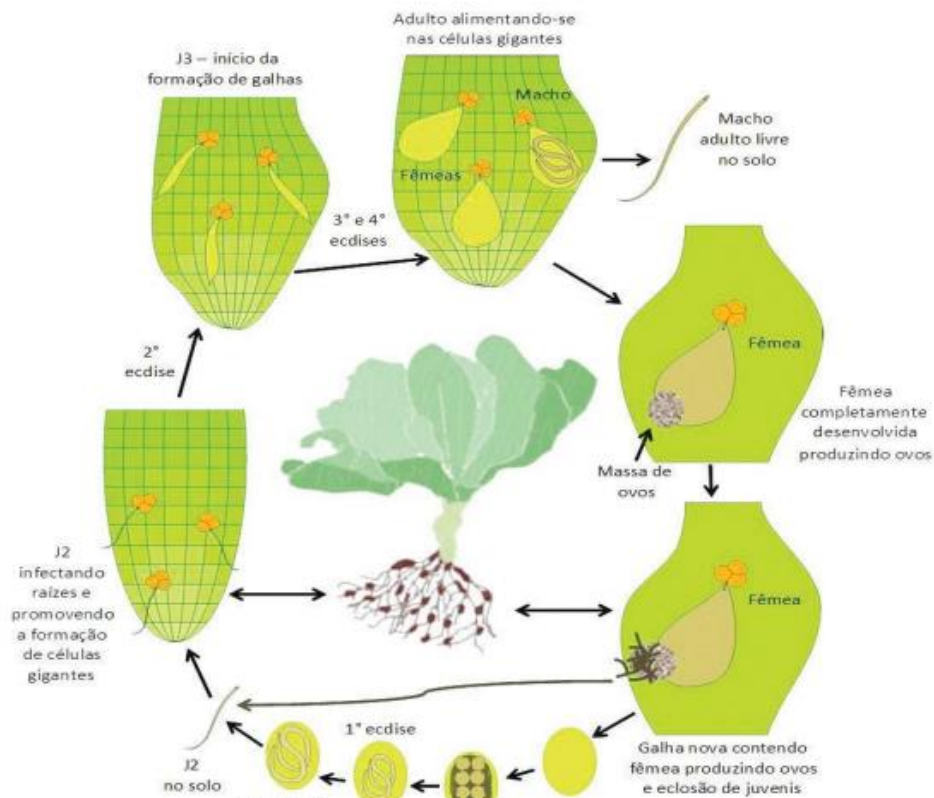


Figura 1 – Esquema do ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. Fonte: Circular Técnica Embrapa Hortaliças. 2013.

3.4 Manejo dos fitonematóides

O manejo de fitonematoides é um grande desafio para a agricultura, especialmente em áreas de cultivos intensivos de olerícolas, onde a sucessão de culturas susceptíveis favorece a proliferação da praga. Para adquirir uma boa eficiência no controle de nematoides, pode depender da integração de diferentes estratégias de manejo, como cultivo de cultivares resistentes, investir no aumento da matéria orgânica, realizar rotação de culturas, entrar com controle biológico e controle químico (PINHEIRO *et al.*, 2017).

No quadro abaixo, podemos analisar os diferentes produtos comerciais a base de microrganismos para os principais tipos de fitonematóides que atacam as culturas.

Quadro 1- Diferentes produtos comerciais utilizados para controle de nematóides.

Nome do Produto Comercial	Microrganismos Presentes	Espécies de Nematoides Controladas	Culturas de Interesse
Profix	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Purpureocilium lilacinum</i>	<i>Meloidogyne incognita</i> (nematóide-das-galhas) e <i>Pratylenchus brachyurus</i> (nematóide-das-lesões)	Soja, feijão, algodão, cana-de-açúcar, milho, café, tomate envarado, tomate rasteiro, batata, brássicas, folhosas, cebola, cenoura, morango, pimentão, beterraba
agDommon	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Purpureocilium lilacinum</i>	<i>Meloidogyne incognita</i> e <i>Pratylenchus brachyurus</i>	Todas as culturas com ocorrência dos alvos biológicos mencionados
BIOSTAT	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	<i>Meloidogyne javanica</i> e <i>Meloidogyne incognita</i>	Soja, milho, cana-de-açúcar, cenoura, alface
Rizotec	<i>Pochonia chlamydosporia</i>	<i>Meloidogyne javanica</i> (nematóide-das-galhas)	Alface, tomate
	<i>Bacillus firmus</i>	<i>Meloidogyne spp.</i>	Hortaliças em geral
NemaControl			
Trichonema	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Meloidogyne spp.</i> <i>Meloidogyne enterolobii</i>	Hortaliças em geral Berinjela
Demether			
Imperium	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Meloidogyne enterolobii</i>	Berinjela

Fonte: Autoria própria. 2025.

É importante ressaltar que, as dosagens podem variar conforme a cultura, o nível de infestação e as condições específicas da área de cultivo. É de grande importância

consultar a bula oficial de cada produto ou um profissional especializado para obter orientações precisas sobre a aplicação. E a eficácia do controle biológico depende da correta aplicação e integração com outras práticas de manejo.

Dutra & Campos (2003) ressaltam que o controle da umidade onde as temperaturas são elevadas, saturam o solo por um período que reduz a mobilidade do solo, fazendo com que os fitonematóides fiquem menos infecciosos. O uso de cultivares resistentes é sempre uma excelente opção em casos de manejos de doenças, no entanto não é uma prática muito fácil pela necessidade de adquirir genótipos disponíveis para serem utilizados e que possuem as características de resistência adjuntas com as qualidades agronômicas exigidas para serem realizadas a comercialização adequada e adaptação desejadas (NEVES *et al.*, 2011). O controle químico, por meio de usos de nematicidas sintéticos, tem sido uma abordagem tradicional, ademais seu impacto ambiental e a seleção de populações de pragas resistentes limitam a sua eficiência a longo prazo (ALMEIDA *et al.*, 2011).

Bellé *et al.* (2019) comentam que “...a eliminação de plantas daninhas, que podem servir de hospedeiras para nematóides, também representa uma medida bastante eficaz...”; assim como indica em estudos que diversas plantas daninhas do Rio Grande do Sul abrigam *Meloidogyne* spp., contribuindo para a manutenção de populações desses nematóides. O uso de leguminosas tem sido explorado como uma estratégia de manejo, pela sua capacidade de interferir no ciclo de vida dos nematóides, além de melhorar a saúde do solo (GOMES *et al.*, 2018). Dessas, o controle biológico, empregando fungos e bactérias nematófagos, vem chamando atenção no Brasil, quanto em outros países, contudo, ainda é uma das alternativas menos estudadas.

3.4.1 Controle biológico

O controle biológico consiste em uma abordagem sustentável que utiliza organismos naturais para suprir populações de nematóides fitopatogênicos, podendo ocorrer de forma natural, onde envolve uma grande quantidade de microrganismos que promovem a redução da população da praga alvo. Podem atuar como nematicidas ou alterando a reprodução e/ou orientação do parasita em direção às raízes da planta (ARAUJO & MARCHESI, 2009). O biológico apresenta diversos proveitos em relação ao químico, como: a) não causa efeito degradável ao meio ambiente; b) sem resíduos nos produtos finais; c) é uma opção mais adequada em diversas circunstâncias (jardins, plantio orgânico, plantios em áreas urbanas); d) não favorecem o surgimento de população de nematóides resistente; e) não causam desequilíbrio na biota do solo; f) ajuda

na transformação de um solo melhor para cultivo; g) tem menor custo de aquisição e, h) é de fácil aplicação (CRUZ *et al.*, 2020).

No Quadro 2 pode ser observado as diferentes formas de controles para os principais tipos de nematóides que atacam as culturas.

Já foram reportados mais de 200 inimigos naturais de fitonematoides nas literaturas, como nematóides predadores, fungos, bactérias, ácaros, os quais os fungos e bactérias são os que mais apresentam potencial de agente de controle biológico. Quando os microrganismos iniciam o processo de colonização da rizosfera das plantas hospedeiras, produzem secreções e liberam enzimas hidrolíticas que atuam na degradação da parede celular do fitonematóide; além que, durante a competição/predação, ocorre a disputa de espaço e nutrientes e alimentação do conteúdo pseudocelomático do patógeno, findando o processo de infecção na planta (CARVALHO *et al.*, 2014).

Quadro 2. Diferentes formas de controle de algumas espécies de nematóides.

Nematóides	Cultura afetada	Formas de controle	Produtos utilizados	Referencias
<i>Meloidogyne incognita</i>	Tomate, alface	Rotação de culturas, uso de cultivares resistentes, controle biológico	Fungos do gênero <i>Trichoderma</i> spp. e <i>Purpureocillium lilacinum</i>	Chagas <i>et al.</i> , (2023); Vieira Junior & Pereira (2021).
<i>Heterodera glycines</i>	Soja	Rotação de culturas com gramíneas, uso de cultivares resistentes	Nematicidas biológicos à base de <i>Bacillus firmus</i>	Silva & Mendes (2024).
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	Milho, soja	Rotação de culturas, adubação verde, controle biológico	Fungos nematófagos como <i>Pochonia chlamydosporia</i>	Pereira <i>et al.</i> , (2020)
<i>Radopholus similis</i>	Banana	Uso de mudas sadias, controle químico e biológico	Nematicidas químicos específicos, produtos biológicos à base de <i>Trichoderma</i> spp.	AGROADVANCE (2023); Silva & Mendes (2024).
<i>Globodera rostochiensis</i>	Batata	Rotação de culturas, uso de cultivares resistentes, controle químico	Nematicidas químicos registrados para a cultura	Pereira <i>et al.</i> , (2020)
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Alho, cebola	Uso de material propagativo livre de nematoides, tratamento térmico das	Produtos químicos específicos autorizados para a cultura	AGROADVANCE (2023); EMBRAPA (2020).

<i>Rotylenchulus reniformis</i>	Algodão, soja	sementes Rotação de culturas, uso de cultivares resistentes, controle biológico	de	Produtos biológicos à base de <i>Bacillus subtilis</i>	Indigo (2021)
<i>Nacobbus aberrans</i>	Batata, tomate	Rotação de culturas, solarização do solo, controle biológico	de	Fungos nematófagos como <i>Purpureocillium lilacinum</i>	Silva (2021)

Fonte: Autoria própria. 2025.

As rizobactérias, como *Bacillus* spp. e *Pseudomonas* spp. têm se destacado como agentes promissores no biocontrole de nematóides fitopatogênicos, servindo como uma alternativa sustentável em relação aos métodos tradicionais e químicos. Atuam na produção de enzimas líticas e metabólitos secundários que afetam diretamente os nematóides, além de ajudar na indução de resistência sistêmica das plantas (MELO, 2023). Chagas *et al.*, (2022) demonstrou que isolados de *Bacillus subtilis* são capazes de solubilizar fosfato e produzir ácidos indolacético, que contribuem para a promoção de crescimento vegetal e a supressão de populações de *Meloidogyne* spp.

As bactérias conseguem produzir mais de 60 tipos de antibióticos, além de endotoxinas e diversos polipeptídeos que interferem no ciclo reprodutivo dos nematóides, principalmente na oviposição e eclosão de juvenis. Em relatos de estudos (CHAGAS *et al.*, 2023; TIAN *et al.*, 2007) comprovam a eficácia da atuação de *Bacillus* spp. como promotor de crescimento de plantas e competição por nutrientes, induzindo à resistência da planta. Além de transformar exsudatos radiculares em subprodutos que interferem no processo de reconhecimento nematóide-planta, produzindo metabólitos secundários que atuam no ciclo reprodutivo do nematóide (ARAUJO, 2018).

Outros estudos realizados com isolados de *B. subtilis* apresentam resultados positivos para o controle de *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla*, potencializando o seu uso como controle biológico; além da ação de transformar compostos minerais em orgânicos que estavam indisponíveis, auxiliando no desenvolvimento vegetal, inibindo a ação de patógenos e contribuindo para incremento de produção (XIA *et al.*, 2011). Além disso, a utilização de rizobactérias tem mostrado eficácia na redução de nematoides em áreas de cultivos de diversas culturas agrícolas; por exemplo, o uso de estirpes de *Bacillus* spp. no cultivo de tomate resultou em diminuição

significativa da infestação de nematoides de galhas, melhorado o desenvolvimento da planta (FERRAZ *et al.*, 2010). Paralelamente, bactérias do gênero *Streptomyces* também tem demonstrado grande potencial no biocontrole de fitonematoides, especialmente quando são usadas em consorcio com fungos de *Trichoderma*, resultando em uma ação sinérgica, aumentando a eficácia de controle e promovendo o crescimento saudável da planta, seja produzindo metabólitos antimicrobianos e fitormônios que inibem o desenvolvimento dos nematóides e promovem resistência às plantas; atuando com forma de controle agindo por antibiose, liberando compostos tóxicos para os nematóides, aumentando a resistência da planta contra o ataque da praga-alvo e promovendo o crescimento radicular (SILVA *et al.*, 2021).

Tais relatos e históricos de pesquisas reforçam o potencial das rizobactérias como componentes essenciais em programas de manejo integrado para controle de fitonematoides, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente.

Alguns fungos também promovem a degradação de estruturas, tanto ovos quanto juvenis, pela liberação de exoenzimas que penetram no fitonematóide realizando uma dissolução enzimática. Podem ser sintetizadores de micotoxinas que penetram no ovo, facilitando o trabalho de izoencimas para impedir a eclosão dos juvenis, assim como a *Pochonia* spp. que realiza a penetração de hifas tanto em ovos, quanto nos juvenis (FERRAZ *et al.*, 2010). Fungos do gênero *Trichoderma*. também são grandes aliados para o biocontrole de fitonematóide atuando por meio de diversos mecanismos, como produção de enzimas líticas e metabólitos secundários que afetam diretamente os nematoides, além de induzir a resistência sistêmica das plantas hospedeiras e de forma indireta, atuando na solubilização de fosfato, deixando-o disponível na forma que a planta consiga absorver e melhorar seu desenvolvimento vegetal, possuem alta capacidade de colonização radicular formando associação simbiótica, fortalecendo as raízes, competindo por nutrientes e espaço contra os nematoides, além de estimular a indução de resistência das plantas ao ataque de patógenos e reduzindo populações de *Meloidogyne enterolobii* na cultura do tomate (BERTTIOL *et al.*, 2019; CHAGAS *et al.*, 2022).

A *Pochonia chlamydosporia* é bastante conhecida por parasitar ovos e os juvenis de fitonematoides, impedindo o desenvolvimento do ciclo de vida, secretando enzimas extracelulares que degradam a parede do ovo e colonizam os tecidos dos nematoides, reduzindo sua população e protegendo o sistema radicular da planta. Estudos indicam que a aplicação desse fungo em sistemas de cultivos, como rotação de cultura entre tomate e milho, pode efetivamente controlar nematóides de galhas radiculares (KERRY *et al.*,

2023).

Apesar das vantagens, a eficácia do biocontrole pode ser influenciada por fatores ambientais, como temperatura, composição do solo, umidade e, estratégias como a formulação de bioinsumos à base de esporos e a combinação de diferentes agentes de biocontrole têm sido desenvolvidas para aumentar a persistência e eficiência dos microrganismos no campo (COSTA *et al.*, 2023). E além das formulações comerciais, o manejo integrado de nematóides pode ser potencializado com uso de práticas culturais (rotação de cultura e uso de adubos orgânicos), consorcio de microrganismos com culturas resistente ou antagonistas aos fitonematoides, no qual têm demonstrados efeitos benéficos nas redução de populações da praga ao longo dos ciclos produtivos, representando uma alternativa viável e sustentável para o controle de fitonematoides, contribuindo para a manutenção da produtividade e redução de impactos ambientais (PEREIRA *et al.*, 2023).

Considerações finais

A presente revisão teórica ressaltou o potencial significativo do emprego de microrganismos na produção sustentável da alface, com ênfase no controle biológico de nematoides do gênero *Meloidogyne*, uma das principais pragas que limitam o rendimento da cultura. Destaca-se a eficiência de bactérias isoladas capazes de promover mortalidade elevada de juvenis e reduzir o número de galhas, conforme demonstrado por Amorim (2022), que relatou isolados bacterianos com taxa de mortalidade superior a 80% em condições de triagem *in vitro* e *in vivo* envolvendo *M. incognita*.

Além do controle direto de nematoides, os microrganismos promovem crescimento vegetal por meio de diferentes mecanismos: colonização da rizosfera, competição por nutrientes, produção de metabólitos e fitormônios, além de indução de resistência sistêmica. Estudo brasileiro identificou 12 isolados de rizobactérias capazes de colonizar eficientemente raízes de alface, com efeitos positivos no peso seco de raízes e no número de folhas, evidenciando o papel multifuncional dessas associações.

Entretanto, embora os resultados em laboratório e em condições controladas sejam promissores, permanece o desafio de garantir estabilidade e eficácia de bioinsumos sob condições de campo e em diferentes contextos edafoclimáticos. O desenvolvimento de formulações comerciais estáveis, consistentes e de fácil aplicação, além de estudos que avaliem a interação entre diferentes cepas microbianas, é essencial para a adoção em larga escala por produtores.

Logo, o uso de microrganismos na cultura da alface se apresenta como uma estratégia viável para reduzir a dependência de defensivos sintéticos, alinhando-se a princípios da agroecologia e da sustentabilidade. Essa abordagem não apenas melhora a sanidade das plantas, mas também valoriza a microbiota edáfica e fortalece a resiliência do agroecossistema.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, M. N. et al. **Fitonematóides: biologia, ecologia e manejo**. Editora AgroCiencia, São Paulo, 2011.
- AMORIM, D. J. Prospecção de bactérias no controle biológico de nematoide-das-galhas (*Meloidogyne incognita*) e promoção de crescimento vegetal. 2022. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022.
- BELLÉ, C. et al. *Importância e manejo de fitonematoides no Rio Grande do Sul*. Plantio Direto, 2019. Disponível em: <https://plantiodireto.com.br/artigos/21>. Acesso em: 19/01/2025
- CAPRONI, C. M. SOUZA, A. G.; FERREIRA, S.; FAQUIN, V.; SOUZA, A. A. Resposta às aplicações de Trichoderma, óleo de Nim e Vertimec no controle de nematoide na cultura do morango. **Revista Agrogeoambiental** v. 4, n. 3, 2012.
- CARVALHO, P. H. Controle biológico e alternativo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em tomateiro. Brasília, DF: **Dissertação**, 98 p. 2017.
- CHAGAS, A. F. et al. **Utilização de Bacillus subtilis como promotor de crescimento na cultura do tomate e alface**. Journal of Biotechnology and Biodiversity, Gurupi, v. 11, n. 4, p. 153- 159, 2023.
- Chagas, A. F et al. **Trichoderma asperellum (Samuels, Lieckf & Nirenberg) como promotor de crescimento em Enterolobium contortisiliquum (Vell) Morong**. Ci. Fl, 34 (2), 1-17, 2024. <https://doi.org/10.5902/1980509864187>.
- COMETTI, N.N et al. Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 748-753, 2004.
- CRUZ, M. F. A. et al. *Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja*. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344755488_Diagnose_e_manejo_de_fitonematoides_na_cultura_da_soja. Acesso em: 19/12/2024
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Diagnose e controle alternativo de doenças em tomate, pimentão, cucurbitáceas e Cenoura. Brasília: **Circular Técnica, 121**. Embrapa hortaliças, 2013.
- Embrapa. (2020). *Nematoides e seu controle*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1144021/1/Capitulo12-MamaoGrupoSolo-Dimmy-AINFO-1.pdf> Acesso em: 02/02/2025
- EXAME. **Mercado de alface cresce continuamente no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-alface-cresce-continuamente-nobrasilhtml/>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- FERREIRA, S. et al. Caracterização de famílias F2:3 de alface para resistência ao nematoide de galhas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, p. 35-42, 2013.
- FERREIRA, T. A. Modalidades e épocas de cultivo da alface em Gurupi – TO. Gurupi, TO: **Dissertação**, 13 p. 2016.

FREITAS, et al. Rizobactérias e alface: colonização rizosférica, promoção de crescimento e controle biológico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1234-1242, set./out. 2020.

GELINSKI, L. J.N.; FILIPPI, E. E. Desenvolvimentismo e Consolidação da Agricultura no Brasil. **Agropampa: Revista de Gestão do Agronegócio**, v. 1, n. 1, p. 35-48 2016.

GOMES, C. B. et al. Emprego de leguminosas no manejo de fitonematoides em espécies frutíferas. In: **Leguminosas na fruticultura: uso e integração em propriedades familiares do sul do Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1114108/1/CesarBauer2LIVROLeguminosas.pdf>. Acesso em: 19/01/2025

GOMES, L.A.A.; RODRIGUES A.C; COLLIER L.S; FEITOSA S.S. Produção de mudas de alface em substrato alternativo com adubação. **Horticultura Brasileira** 26: 359-363. 2008.

Indigo. (2021). **Nematoides: Impacto e Controle na Agricultura**. Disponível em: <https://www.indigoag.com.br/pt-br/blog/nematoides-o-que-sao-como-vivem-do-que-se-alimentam-por-que-se-preocupar> Acesso em: 19/01/2025

PEREIRA, F. S.; MOURA, R. M.; MOURA, A. M. A. (2020). Avaliação in vitro do efeito de rizobactérias sobre a eclosão e motilidade de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* e sobre a motilidade de *Pratylenchus zeae*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/NccydDMYS3dfjcRtXcJqkVF/?lang=pt>. Acesso em: 01/03/2025

VIEIRA JÚNIOR, J. O. L.; PEREIRA, R. C. (2021). Controle biológico: uma revisão sobre os principais agentes microbiológicos utilizados no controle de nematoides. In: SILVA, C. R. C.; SANTOS, I. L. V. L. (Org.). **A Transformação da Agricultura Brasileira**. Campina Grande: Editora Science, p. 1-13. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358431472> Acesso em: 19/01/2025

AGROADVANCE. **Controle biológico de nematoides: 5 microrganismos utilizados**. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-controle-biologico-de-nematoides/>. Acesso em: 25/01/2025

Chagas, L. F. B. C et al. (2022). *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, 7(1), 0001-0016.

ALMEIDA, R. T. et al. *Bacillus spp. no biocontrole de fitonematoides em culturas agrícolas*. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 48, n. 2, p. 215-230, 2023.

COSTA, M. L. et al. *Consórcios microbianos e sua eficácia no manejo de fitonematoides em solos tropicais*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 58, n. 5, p. 1-15, 2023.

PEREIRA, L. A. et al. *Efeitos da interação entre actinobactérias e fungos nematófagos no controle de fitonematoides*. *Revista de Microbiologia Agrícola*, v. 12, n. 1, p. 100-115, 2023.

KERRY, B. R. et al. *Integrated management of root-knot nematodes in a tomato-maize crop system using the biocontrol fungus Pochonia chlamydosporia*. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272200457_Integrated_management_of_root-knot_nematodes_in_a_tomato-

maize_crop_system_using_the_biocontrol_fungus_Pochonia_clamydosporia. Acesso em: 09/01/2025

SILVA, G. S. et al. *Testing the Biocontrol Ability of a Trichoderma-Streptomyces Consortium against Pyrrhoderma noxium in Soil*. 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9864159/>. Acesso em: 15/03/2025

ARAÚJO, F. F & MARCHESI, G. V. P. **Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, p.1558, agosto 2009.

ARAÚJO, F.V. Novas moléculas e produtos biológicos no manejo de fitonematoides em soja. **Trabalho apresentado no XXXV Congresso Brasileiro de Nematologia**. Bento Gonçalves, RS. Embrapa Brasília, DF. 239. p. 2018.

CARVALHO, D.D.C.; LOBO JUNIOR, M.; MARTINS, I.; INGLIS, P.W.; MELLO, S.C.M Biological control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *Phaseoli* by *Trichoderma harzianum* and its use for common bean seed treatment. **Tropical Plant Pathology**, v. 39 n. 5, p. 384-391. 2014.

CHARCHAR, J. M.; HUANG, C. S. Sobrevivência de *Pratylenchus brachyurus* em fragmentos de raízes de capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 16, n.1, p. 22-25, 1999.

DUTRA, M.R. & CAMPOS, V.P. Efeito do manejo de solo e da irrigação como nova tática de controle de *Meloidogyne incognita* em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, 608-614. 2003.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. In. SILVA, J. F. V.; MAZAFFERA, P.; CARNEIRO, R. G.; ASMUS, G. L. & FERRAZ, L. C. C. B. Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja. Londrina, Embrapa Soja: **Sociedade de Nematologia**, p.127, 2001.

FERRAZ, S. et al. **Manejo sustentável de Fitonematoides**. Viçosa, MG, Ed. UFV, p. 306, 2010.

MOTA, W. F.; PEREIRA, R. D.; SANTOS, G. S.; VIEIRA, J. C. B. **Agronomic and economic viability of intercropping onion and lettuce**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 2, p. 349-354, 2012.

NEVES, W. S. Giaretta; LOPES, E. A.; PARREIRA, D. F.; FARIA, C. M. R. D. **Nematóides na cultura da alface: Sintomas, disseminação e principais métodos de controle**. Pitangui: EPAMIG, p. 1-3, mar. 2011.

OLIVEIRA, C. M. G. **Panoramas das doenças e pragas em horticulturas: doenças causadas por nematóides**. *Biológico*, São Paulo, v. 69, p. 85, 2007.

OLIVEIRA, J. O. Levantamento de fitonematoides e caracterização bioquímica de populações de *Meloidogyne* spp. Em áreas cultivadas com hortaliças na região sul do estado de Goiás. Morrinhos, GO. **Dissertação**, p. 49, 2016.

- Pinheiro J. B. Nematoides em Hortaliças. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, DF, p.194. 2017.
- PINHEIRO, J.B.; CARVALHO, A.D.F.; VIEIRA, J.V. Manejo do nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de cenoura na região de Irecê – BA. **Comunicado Técnico 77**. Brasília, DF. Embrapa Hortaliças, 2017.
- ROSA, J. M. O.; WESTERICH, J. N.; WILCKEN, S. R. S. Nematoides das galhas em áreas de cultivo de olerícolas no estado de São Paulo. **Nematologia Brasileira**, v. 37, n. 1-2, p. 15-19, 2013.
- SALA F.C; Costa C.P. Retrospectiva e tendência da alficultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, n. 2, p. 187-194. 2012.
- SCHWEGBER, J. E.; BEVILACQUA, G. A. P.; RODRIGUES, I. A.; BARBOSA, N. C.; MANCILLA, S. C.; SILVA, P. M. **Avaliação de variedades crioulas e cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema orgânico no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa, 2021.
- Silva, A. R., & Mendes, V. C. (2024).** *Ação biológica de Bacillus spp. no controle de nematoides: uma revisão crítica*. Agricultural Research Advances, 32(1), 112–127.
- Silva, M. E. C. (2021). Estudo do controle biológico de fitonematoides com fungos nematófagos. Repositório IF Goiano. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3855/3/tcc_Marya%20Eduarda%20Castro%20Silva.pdf
- SILVA, M. G.; SHARMA, R. D.; JUNQUEIRA, A. M. R. Efeito da solarização, adubação química e orgânica no controle de nematoides em alface sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n.4, p. 489-494. 2006.
- TIAN, B.Y.; YANG, J.K.; LIAN, L.H.; WANG, C.Y.; ZHANG, K.Q. Role of neutral proform *Brevibacillus laterosporus* in pathogenesis of nematode. **Microbiology and iotechnology**, v. 74, n. 2 p. 372-380. 2007.
- XIA, Y. et al. The *purL* gene of *Bacillus subtilis* is associated with nematicidal activity. **FEMS, Microbiology Letters**, v.322, p. 99-107, 2011.

Controle Biológico de *Meloidogyne incognita* associado à promoção de crescimento em alface por microrganismos antagonistas

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas e cultivadas no Brasil, com grande importância econômica e nutricional. Seu cultivo é afetado por fitopatógenos, especialmente nematoides do gênero *Meloidogyne*, que causam galhas radiculares, comprometendo o desenvolvimento e produtividade das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de microrganismos como agentes antagonistas de *Meloidogyne incognita* e seus efeitos no crescimento da alface. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado com dez tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram isolados de fungos (*Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. pinatum*, *Pochonia chlamydosporia*) e bactérias (*Bacillus subtilis*, *B. methylotrophicus*, *Streptomyces* sp.), além de produto comercial e testemunha. Entre os microrganismos avaliados, o isolado STREPTO-26 destacou-se pelo desempenho superior, promovendo maior diâmetro de caule, elevada produção de matéria fresca da parte aérea (19,16 g) e valores expressivos de comprimento de raiz e matéria seca, atuando também como agente antagonista eficaz. Os isolados *T. harzianum*, *B. subtilis* (BS-10 e BS-Panta) e *P. chlamydosporia* também demonstraram ação antagonista, reduzindo significativamente a formação de galhas (até 96%) e promovendo crescimento radicular. Esses resultados indicam que microrganismos benéficos, especialmente STREPTO-26, representam uma estratégia promissora e sustentável para o manejo de fitonematoides, promovendo crescimento vegetal e práticas agrícolas ambientalmente seguras.

Palavras-chaves: *Lactuca sativa*, Nematoides, Microrganismos.

Biological control of the *Meloidogyne incognita* associated with growth promotion in lettuce by antagonistic microorganisms

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most consumed and cultivated leafy vegetables in Brazil, with significant economic and nutritional importance. Its cultivation is affected by phytopathogens, particularly nematodes of the genus *Meloidogyne*, which cause root galls, impairing plant development and productivity. This study aimed to evaluate the efficacy of microorganisms as antagonistic agents against *Meloidogyne incognita* and their effects on lettuce growth. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design with ten treatments and six replications, including fungal isolates (*Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. pinatum*, *Pochonia chlamydosporia*) and bacterial isolates (*Bacillus subtilis*, *B. methylotrophicus*, *Streptomyces* sp.), along with a commercial product and a control. Among the tested microorganisms, the *Streptomyces* isolate STREPTO-26 stood out for superior performance, promoting greater stem diameter, higher aerial fresh biomass (19.16 g), and significant root length and dry matter accumulation, while also acting as an effective antagonistic agent. The isolates *T. harzianum*, *B. subtilis* (BS-10 and BS-Panta), and *P. chlamydosporia* also showed antagonistic activity, significantly reducing gall formation (up to 96%) and promoting root growth. These results indicate that beneficial microorganisms, particularly STREPTO-26, represent a promising and sustainable strategy for managing phytopathogenic nematodes, enhancing plant growth, and supporting environmentally safe agricultural practices.

Keywords: Nematodes; Microorganisms; Vegetable.

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas e consumidas no Brasil, com destaque para o seu valor nutricional e a preferência do consumidor por sua versatilidade culinária (FERREIRA *et al.*, 2022). Por apresentar ciclo curto, alta demanda no mercado e bom retorno econômico, tornou-se uma cultura importante para a agricultura familiar e para sistemas orgânicos e agroecológicos (MARTINS *et al.*, 2021).

Entretanto, a alface enfrenta desafios fitossanitários relevantes, sobretudo causados pelo nematoide de galhas *Meloidogyne incognita*. Este organismo apresenta alta taxa de reprodução e persiste no solo após cultivos sucessivos, causando galhas nas raízes que prejudicam a absorção de água e nutrientes. Esses danos resultam em folhas amareladas, redução do tamanho da cabeça e perda do valor comercial da hortaliça, conforme demonstrado por estudos recentes (MOREIRA *et al.*, 2024; GATTONI *et al.*, 2023).

Apesar do uso comum de nematicidas químicos no manejo, estudos modernos indicam que esses produtos podem deixar resíduos detectáveis em folhas de alface, ultrapassando limites máximos toleráveis. Análises de mercado brasileiro mostraram que até 30 % das amostras apresentaram contaminação por pesticidas e cerca de 23 % ultrapassaram os Limites Máximos de Resíduo (LMR), levantando preocupações quanto à sua toxicidade e aceitação pelos consumidores (ALVES *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2021).

A buscar alternativas sustentáveis para o manejo de nematoides, com destaque para o uso de agentes biológicos, como fungos e bactérias antagonistas tem se mostrado essencial. Microrganismos como *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma* spp., e espécies dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* têm se mostrado eficazes na supressão de fitonematoides, além de promoverem o crescimento vegetal (FREITAS *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Estudos recentes comprovam a ação nematicida direta desses organismos por meio da produção de enzimas líticas e metabólitos tóxicos, além de mecanismos indiretos, como a indução de resistência sistêmica e competição por espaço e nutrientes na rizosfera (GATTONI *et al.*, 2023; MELO *et al.*, 2023).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a atividade de controle biológico e promoção de crescimento vegetal de microrganismos antagônicos contra *M. incognita* na cultura da alface.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e características dos microrganismos

As cepas dos fungos e isolados de bactérias foram adquiridas no Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia (AGROBIO/PPG-PV) da Universidade Federal do Tocantins – Campus de Gurupi (11°48'29" S, 48°56'39" W, 280 m altitude), onde estão armazenadas. Todos os isolados apresentaram-se caracterizados e identificados. As cepas de *Trichoderma* foram repicadas em placa contendo meio de cultura BDA (20% de infusão de batata, 2% de dextrose, 2% de ágar) e as bactérias repicadas em placas Petri em meio de cultura caldo nutriente (Peptona de carne 5 g L⁻¹; extrato de carne 3 g L⁻¹, 20 g L⁻¹, água destilada e pH 7,4). Em seguida, todos foram incubados em B.O.D (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura a 28 ± 2 °C, e fotoperíodo de 12 horas durante 7 dias.

Tabela 1 – Caracterização dos microrganismos utilizados no controle biológico de *Meloidogyne incognita* em alface.

Microrganismo	Tipo	Código/Isolado	Origem	Modo de ação esperado
<i>Trichoderma harzianum</i>	Fungo	UFT-25	Coleção UFT	Parasitismo, competição, indução de resistência
<i>Trichoderma asperellum</i>	Fungo	UFT-201	Coleção UFT	Parasitismo e antibiose
<i>Trichoderma pinatum</i>	Fungo	UFT-37	Coleção UFT	Parasitismo e antibiose
<i>Bacillus subtilis</i>	Bactéria	BS-10 e Panta	Coleção UFT	Produção de metabólitos, antibiose, ISR*
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Bactéria	-	Coleção UFT	Produção de lipopeptídeos e competição
<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Fungo	Isolado do solo	Laboratório de Microbiologia	Parasitismo de ovos e juvenis
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Fungo entomopatogênico	META-UFT	Laboratório de Microbiologia	Ação indireta via antagonismo ao nematoide
<i>Beauveria bassiana</i>	Fungo entomopatogênico	BV-UFT	Laboratório de Microbiologia	Ação indireta e competição

*ISR: Resistência Sistêmica Induzida.

2.2 Cultivo em meio líquido

Isolados de *Trichoderma* foram inoculados em um Erlenmeyer de 250 mL contendo meio BD (20% de infusão de batata, 2% de dextrose) e as bactérias (*Bacillus* e *Streptomyces*-26) foram incubados em um Erlenmeyer de 250 mL contendo meio caldo nutriente (Peptona de carne 5 g L⁻¹; extrato de carne 3 g L⁻¹ água destilada e pH 7,4). Todos foram devidamente esterilizados (autoclavados a 121 °C por 20 min), asépticamente inoculados em temperatura ambiente e incubados em câmara incubadora Shaker, com agitação orbital a 35 °C, por 5 dias.

2.3 Cultivo e multiplicação de nematóide *M. incognita*

O isolado de nematoide utilizado no experimento foi obtido no Laboratório da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus de Gurupi. A identificação da espécie *Meloidogyne incognita* (raça 2) foi realizada com base em características morfológicas dos juvenis de segundo estágio (J2), observados em microscópio óptico. Foram considerados parâmetros como o formato corporal curvo, cauda afilada e estilete bem desenvolvido, conforme descrições propostas por Carneiro e Almeida (2001).

Após a identificação, os nematoides foram multiplicados em plantas hospedeiras de alface (*Lactuca sativa*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e jiló (*Solanum gilo*), cultivadas em vasos tipo jardineira contendo mistura de solo e substrato comercial para hortaliças. Ao término do ciclo das plantas, após a confirmação da formação de galhas nas raízes, procedeu-se à extração dos ovos e juvenis dos sistemas radiculares, utilizando a técnica descrita por Hussey e Barker (1973) e adaptada por Bonetti e Ferraz (1981). A suspensão obtida foi empregada na inoculação dos tratamentos experimentais.

2.4 Condução do experimento

Para a condução do experimento, preparou-se uma mistura de substrato comercial, comumente utilizado na produção de mudas de hortaliças, e solo, na proporção de 2:1 (v/v), acondicionada em sacos plásticos com capacidade de 10 litros. Utilizaram-se sementes da cultivar comercial SVR. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por 10 tratamentos e 6 repetições, com avaliações realizadas ao final do ciclo da cultura.

Os tratamentos testados foram: *Bacillus subtilis* UFT-BS-10, *B. subtilis* BS-Panta, *B. methylotropicus*, *Streptomyces*. Str-26, *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma*

harzianum, *T. asperellum*, *T. pinatum*, *B. subtilis* – produto comercial Bacill MIX e Testemunha (sem inoculação de agentes biológicos). Cada tratamento consistiu na aplicação de 1 mL da respectiva solução, tendo em média a concentração de 1×10^9 UFC por mL, diretamente no colo da planta (Figura 1).

Figura 1 – Inoculação da solução contendo nematóides no colo da planta de alface.



Fonte: Autor, 2025.

A semeadura foi feita com cinco sementes por recipiente, e, após o desenvolvimento das plantas até a emissão da terceira a quarta folha definitiva, procedeu-se ao desbaste, deixando-se uma planta por saco. Na sequência, foi realizada a inoculação dos nematoides, conforme técnica proposta por Hussey e Barker (1973) e adaptada por Bonetti e Ferraz (1981). Para quantificação, utilizou-se a câmara de contagem de Peters, com alíquotas de 1 mL da suspensão, determinando-se a concentração de juvenis de segundo estágio (J2). Cada planta recebeu aproximadamente 2.100 ovos e J2s em 1 mL da suspensão.

Aos 30 dias após a inoculação, procedeu-se à coleta das plantas, com remoção cuidadosa do substrato aderido às raízes sob água corrente. Posteriormente, avaliaram-se as seguintes características agrônômicas: comprimento de raiz (CR) e altura da planta (AP: medida obtida com régua milimetrada e os valores foram expresso em cm; número de folhas (QF): por contagem direta; massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da parte aérea (MSPA), utilizando-se balança de precisão.

Nos tratamentos que receberam a inoculação de nematoides também foram realizadas avaliações específicas quanto à interação planta-patógeno: número médio de galhas (NMG): obtido pela contagem total no sistema radicular limpo; tamanho médio de

galhas (TMG): classificado segundo a escala de Faria (1990), em que: 1 – galhas pequenas (uma fêmea), 2 – galhas médias (2 a 3 fêmeas), 3 – galhas grandes (mais de 3 fêmeas); e o posicionamento das galhas (PG), conforme escala adaptada de Ponte Filho (1991): 0 – ausência de galhas; 1 – galhas apenas na raiz principal; 2 – em raízes principais e secundárias; 3 – em raízes primárias, secundárias e terciárias; 4 – presença em raízes primárias até quaternárias.

Após essas avaliações, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa a 65 °C por 72 horas, até obtenção de massa constante

2.5 Análises Estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de Análise de Variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5%. As análises estatísticas foram executadas com auxílio do software Rstudio, garantindo maior rigor e confiabilidade na interpretação dos resultados experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características Agronômicas

As análises dos resultados obtidos na realização do experimento demonstraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos em relação às variáveis avaliadas. O comprimento de raiz é uma variável muito importante, pois reflete a capacidade da planta em poder explorar o solo em busca de nutrientes e água; nisso os tratamentos BS-Panta (34,0 cm) e *T. harzianum* (34,7 cm) se destacaram como os mais eficientes, com raízes significativamente mais longas do que a Testemunha (28,7 cm), apresentando um incremento de 18,47 e 20,90%, respectivamente em relação aos outros tratamentos. Tais resultados podem ser alinhados com os estudos recentes que demonstram o potencial do *T. harzianum* em promover o crescimento da raiz. Como exemplo, Patloková & Pokluda (2024) as inoculações com *Bacillus methylotrophicus*, *Trichoderma pinatum* e o produto comercial resultaram em reduções de 20,21%, 29,27% e 37,28%, respectivamente, no comprimento radicular. Esses resultados indicam que a resposta das plantas à inoculação depende fortemente da compatibilidade entre o microrganismo e a espécie vegetal, bem como das condições ambientais e do substrato de cultivo. A inferioridade desses tratamentos pode estar associada a possíveis efeitos de competição entre microrganismos, produção de metabólitos inibitórios ou ainda a uma

resposta de estresse inicial da planta à colonização, o que já foi relatado em outros estudos que avaliaram o uso de microrganismos promotores de crescimento em hortaliças. Além disso, a variação na eficiência entre isolados microbianos pode refletir diferenças na capacidade de colonização radicular e na expressão de genes relacionados à promoção do crescimento vegetal. (Tabela 2, Figura 1-A).

Tabela 2. Comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), diâmetro de cabeça (D.CAB), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de alface com inoculação e diferentes microrganismos.

TRATAMENTOS	CR (CM)	D.C (CM)	D.CAB (CM)	MFR (G)	MFPA (G)	MSR (G)	MSPA (G)
BS-10	31.9 b	2.65 b	25.13 a	5.426 d	15.100 c	0.406 c	2.354 d
BS-PANTA	34.0 a	2.6 b	23.26 b	7.582 b	12.696 d	1.321 a	3.283 c
B. METILO.	22.9 e	2.05 e	19.18 e	4.158 e	10.010 f	1.189 a	3.523 c
PRODUTO COMERCIAL	18.0 g	1.75 f	19.00 e	3.188 f	13.083 d	0.788 b	5.310 a
STREPTO-26	31.5 b	2.86 a	20.40 d	6.764 c	19.166 a	1.147 a	5.033 a
POCHONIA	32.8 b	2.36 c	20.33 d	5.106 d	9.785 f	1.130 a	4.020 b
T. PINAT.	20.3 f	2.05 e	23.88 b	2.800 f	10.096 f	0.777 b	2.558 d
T. ASPEREL.	26.2 d	1.95 e	18.00 e	4.364 e	11.940 e	0.893 b	3.952 b
T. HARZ.	34.7 a	2.6 a	23.26 c	8.531 a	16.657 b	1.104 a	3.773 b
TEST.	28.7 c	2.15 d	18.91 e	5.217 d	11.936 e	0.701 b	4.059 b
CV*	4.34%	4.04%	4.73%	12.12%	6.01%	27.29%	11.9%

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). *CV = coeficiente de variação.

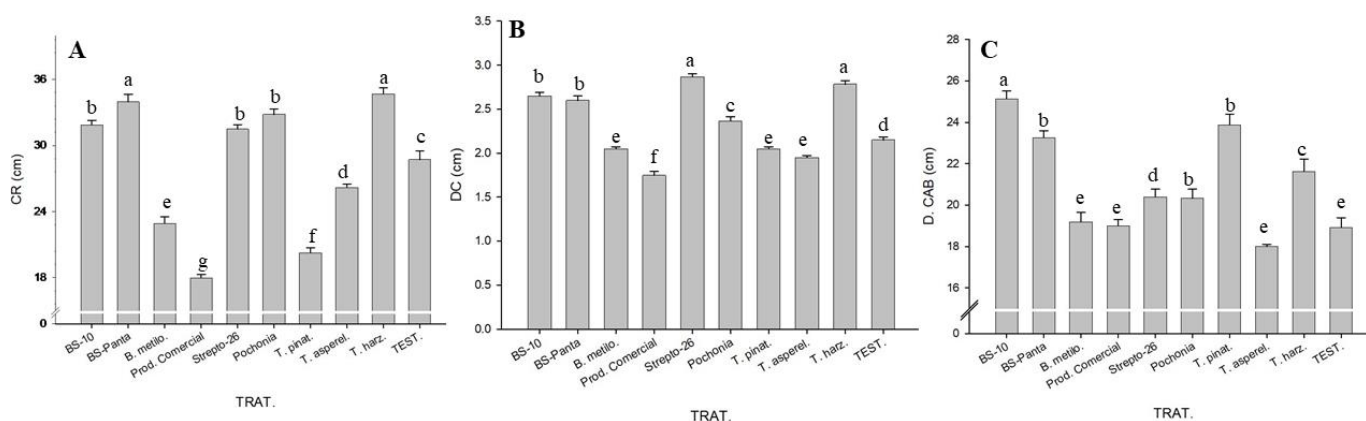
O aumento do comprimento das raízes pode estar relacionado com a atividade microbiana que promovem o desenvolvimento radicular, por meio de um aumento na disponibilidade de nutrientes ou na redução da infestação por nematóides, que competem por recursos. A diferença em comprimento de raiz nos tratamentos superiores em relação à testemunha é indicativa da ação benéfica dos microrganismos presentes nos tratamentos, como observado nos estudos recentes de Silva *et al.* (2023) que destacaram a influência de microrganismos no aumento do crescimento radicular em plantas afetadas

por patógenos.

O diâmetro de caule também varia entre os tratamentos estatisticamente ($p < 0,05$). Os tratamentos *Strepto-26* (2,86 cm) e *T. harz.* (2,6 cm) foram os que apresentaram maiores diâmetros de caule, apresentando um ganho de 33,02 e 20,93%, respectivamente significativamente maior que a Testemunha (2,15 cm). A Testemunha apresentou o menor valor para o DC, o que pode indicar menor vigor das plantas das plantas em comparação aos tratamentos que receberam a inoculação com microrganismos, pois o aumento do caule é um indicativo que os microrganismos estão promovendo um ambiente favorável ao crescimento vegetativo. As bactérias BS-10 e BS-Panta (2,65 e 2,6 cm; respectivamente) também se mostraram promissoras para esta característica avaliada, sendo superiores com 23,25 e 20,93% de ganho em relação a Testemunha. Estudos como o de Costa *et al.* (2022) corroboram esses resultados, sugerindo que o uso de fungos e bactérias benéficas pode estimular o crescimento vegetativo das plantas. O uso de rizobactérias promotoras de crescimento pode estimular o crescimento vegetativo, incluindo o aumento do diâmetro de caule (Abou Jaoudé *et al.*, 2025).

Figura 1. Comprimento de raiz (CR) (A), diâmetro de caule (DC) (B) e diâmetro de cabeça (D.CAB.) (C) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos.

Fonte: Autor, 2025.



Em relação ao diâmetro da cabeça, o BS-10 apresentou um ganho de 32,89% (25,13 cm) sendo o tratamento que apresentou o melhor desempenho ($p < 0,05$). Para BS-Panta (23%) e *T. pinatum* (26,28%), também tiveram um bom desempenho significativo (Figura 1-C). Os tratamentos *B. methylotrophicus* (19,18 cm), Produto Comercial (19,0 cm), *T. asperellum* (18,0 cm) não se diferiram estatisticamente da Testemunha, com 18,91 cm. O aumento de quase 33% no diâmetro de cabeça de BS-10 em relação à Testemunha também sugere que a presença desses microrganismos pode ter efeitos positivos no

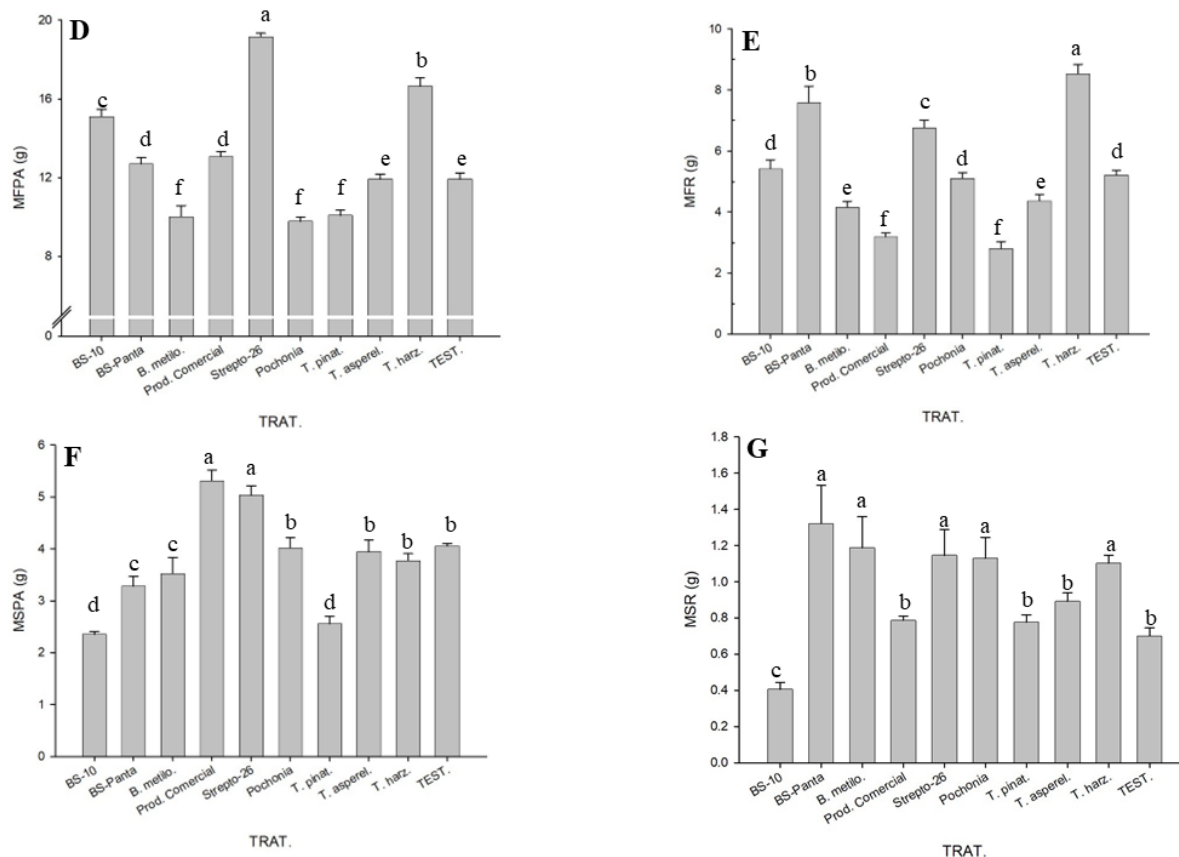
desenvolvimento da planta, possivelmente reduzindo o estresse e melhorando a nutrição das plantas, como apontado por Almeida *et al.* (2021). De acordo com Santos *et al.* (2009), o diâmetro da cabeça da alface é um fator determinante para sua aceitação comercial, especialmente em redes de supermercados e feiras livres. Os resultados obtidos no presente estudo estão em concordância com os dados reportados por Souza *et al.* (2007), que observaram, para a cultura da alface, variações no diâmetro da planta entre 20,4 cm e 23,5 cm.

Em geral aos resultados observados nessa variável, confirma que a presença desses microrganismos pode ter efeitos positivos no desenvolvimento da planta, possivelmente reduzindo o estresse e melhorando a nutrição, conforme apontado no trabalho de Patloková e Pohluda (2024), que relataram melhorias no status mineral e no rendimento da alface com a aplicação de *T. harzianum* e *Bacillus mojavensis*.

Na Tabela 1 também podemos observar que para a massa fresca da raiz o tratamento com *T. harzianum* (8,531 g) foi o que apresentou melhor resultado em relação à Testemunha e aos demais tratamentos com inoculação ($p < 0,05$), com ganho de 63,52%; em seguida, o BS-Panta, com 45,33% também apresentou ser promissor, diferindo estatisticamente dos demais. Para os tratamentos *B. methylotrophicus*, *T. asperellum* e *T. pinatum* (4,158; 4,364 e 2,800 g respectivamente), foram inferiores quando se comparados à Testemunha (5,217 g). Nos tratamentos avaliados, observou-se correlação positiva entre a presença dos microrganismos e as principais características agrônomicas da alface, incluindo diâmetro de caule, comprimento e massa das raízes e biomassa aérea. Esses dados indicam que, além de reduzirem significativamente a formação de galhas, os microrganismos também promovem crescimento vegetativo e vigor das plantas.

Os resultados sugerem que o aumento da biomassa radicular está diretamente relacionado com a atividade dos microrganismos, podendo ter ajudado na maior penetração das raízes no solo, favorecendo a absorção de água e nutrientes. A diferença do *T. pinatum* e a Testemunha é substancial e reforça a importância dos microrganismos no crescimento radicular (Figura 2-E). Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos de Oliveira *et al.* (2022) que relataram a inoculação com *T. harzianum* auxiliou no aumento do crescimento radicular da alface em cultivo hidropônico.

Figura 2 – Gráficos matéria fresca da aérea (MFPA) (D), matéria fresca da raiz (MFR) (E), matéria seca da parte aérea (MSPA) (F) e matéria seca da raiz (MSR) (G).



Fonte: Autor, 2025.

Para a massa fresca da parte aérea, o tratamento *Streptomyces* foi o que melhor sobressaiu estatisticamente ($p < 0,05$), em comparação aos demais tratamentos e, representando 60,57% de aumento em relação à Testemunha. Para este resultado obtido, os autores Sahli & Abdulkhair (2012) e Gopalakrishnan *et al.* (2014) destacam que o grupo dos *actinomicetos*, especialmente o gênero *Streptomyces*, apresentam uma capacidade de estabelecer associações em plantas, colonizando diferentes tecidos, como córtex radicular e as folhas. Tal interação ocorre devido a habilidade desses microrganismos em metabolizar diversas fontes de carbono orgânico, além de possuir características funcionais relevantes, como produção de metabólitos com ação antifúngica na rizosfera, a promoção de crescimento vegetal, na síntese de sideróforos e na capacidade de fixar nitrogênio. Em base nas citações apresentadas, os resultados obtidos corroboram com as observações analisadas, evidenciando os efeitos benéficos da inoculação de microrganismo para incremento vegetal da alface. Os tratamentos *B. methylotrophicus*, *Pochonia* e *T. pinatum*. foram os que apresentaram menores médias em relação a Testemunha.

A massa seca da raiz e da parte aérea são importantes para avaliar a capacidade de acúmulo de biomassa ao longo do tempo. Para a MSR os melhores tratamentos foram o grupo de BS-Panta (1,321 g), *B. methylotrophicus* (1,189 g), *Streptomyces-26* (1,147 g), *Pochonia* (1,130 g) e *T. harzianum* (1,104 g) não se diferindo entre si ($p < 0,05$), mas sendo superiores à Testemunha, apresentando ganhos de 88,44; 69,61; 63,62; 61,19 e 57,48% respectivamente, e melhores que os demais tratamentos testados (Figura 2-G). Enquanto para a MSPA (Figura 2-F), os melhores tratamentos obtiveram um incremento de 30,82% e 24%, sendo os Produto Comercial (5,310 g) e *Streptomyces-26* (5,033 g), mostrando-se superiores aos demais. Tal diferença entre os tratamentos reforça os benefícios que os microrganismos têm na promoção do crescimento e do aumento de biomassa, conforme observado em outros estudos sobre o uso de microrganismos no controle de doenças e na promoção de crescimento vegetal (Lima *et al.*, 2021). Chagas *et al.* (2017) constatou em seu trabalho que experimento conduzido com uso de isolados de *Trichoderma* apresentou aumento na massa seca total das plantas, incluindo as raízes e parte aérea, podendo reforçar a eficiência do microrganismo na promoção vegetal em várias culturas.

Entre os microrganismos avaliados, o tratamento com STREPTO-26 apresentou os resultados mais promissores nas principais características agronômicas analisadas. Esse isolado promoveu maior diâmetro de caule (2,86 cm) e destacou-se na produção de matéria fresca da parte aérea (19,16 g), variável de grande relevância para a cultura da alface por estar diretamente associada ao desenvolvimento vegetativo e ao rendimento comercial. Além disso, manteve valores expressivos de comprimento de raiz e matéria seca, reforçando seu potencial em estimular não apenas o crescimento da parte aérea, mas também a formação de um sistema radicular mais eficiente. Dessa forma, os resultados obtidos permitem considerar o STREPTO-26 como o microrganismo mais eficiente entre os testados, configurando-se como uma alternativa promissora para incrementar a produtividade e a qualidade da alface.

A correlação positiva entre os microrganismos e as variáveis agronômicas reforça que estes agentes não atuam apenas como antagonistas de *Meloidogyne incognita*, mas também como promotores de crescimento. O destaque do isolado STREPTO-26 evidencia o potencial dos microrganismos em incrementar produtividade e qualidade da alface, corroborando estratégias sustentáveis de manejo de fitonematoides.

3.2 Controle de nematóides-de-galhas com microrganismos

Para a característica do controle de fitonematoides, os tratamentos que

apresentaram o menor NMG, indicando maior eficiência estatisticamente ($p < 0,05$) no controle, foram o BS-10 (4%), BS-Panta (8%), *Pochonia* (10%) e o *T. harzianum* (14%), com valores estatisticamente semelhantes, sugerindo que esses microrganismos foram altamente eficazes, apresentando 96, 92, 90 e 86% de redução na infestação de nematóides (Tabela 2). Por outro lado, o tratamento *T. pinatum* apresentou um número de galhas próximo ao da Testemunha, indicando baixa eficiência no controle de nematóides, apresentando um controle de apenas 5%, sendo estatisticamente similar à Testemunha. O *B. methylotrophicus* e o *Streptomyces-26* apresentaram controle intermediário, reduzindo 61 e 71% da infestação, respectivamente; enquanto o Produto Comercial reduziu 32% da infestação de nematoides-de-galhas (Figura 3).

Tabela 3. Influência da inoculação de fungos e bactérias na cultura da alface para controle de nematoide-de-galhas, nas variáveis número médio de galhas (NMG), tamanho médio de galhas (TMG) e posicionamento de galhas (PG).

TRATAMENTOS	NMG	TMG	PG
BS-10	4 a	1	2
BS-PANTA	8 a	2	3
B. METILO.	39 b	1	2
PRODUTO COMERCIAL	68 d	2	3
STREPTO-26	29 b	2	2
POCHONIA	10 a	2	3
T. PINAT.	95 e	2	4
T. ASPEREL.	54 c	2	3
T. HARZ.	14 a	2	3
TEST.	100 e	2	3
CV*	21.67%	31.79%	32.49%

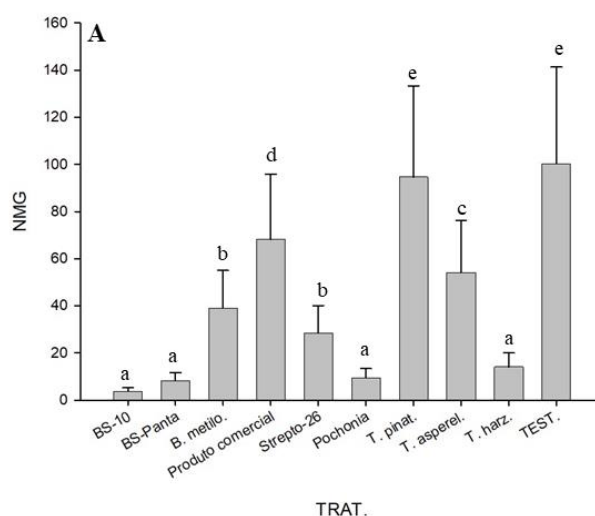
Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). *CV = coeficiente de variação.

Os microrganismos atuam de diferentes formas na supressão de nematóides. Fungos como *Pochonia chlamydosporia* são conhecidos por sua capacidade de parasitar ovos de nematóides, reduzindo sua população no solo (Silva *et al.*, 2023). Já os *Trichodermas*, como *T. harzianum*, podem induzir resistência sistêmica nas plantas e liberar compostos que afetam diretamente os nematóides (Oliveira *et al.*, 2022). Os tratamentos que mostraram maior eficiência, como BS-10, BS-Panta e *Pochonia*, podem ter atuado por meio da produção de metabólitos antimicrobianos, competição por espaço e nutrientes ou ativação de mecanismos de defesa da planta, conforme observado por Ferreira *et al.* (2021). Além disso, Castro (2021) relatou que isolados de *Bacillus*

causaram maior mortalidade e inibiram a eclosão de juvenis de *Meloidogyne incognita*.

O desempenho insatisfatório de *T. pinatum* (Tabela 3) pode indicar que este microrganismo não possui efeito direto sobre os nematóides ou que seu estabelecimento no sistema radicular não foi eficiente o suficiente para reduzir a população de nematóides. Esse resultado destaca a importância da escolha de agentes de biocontrole específicos para cada patógeno-alvo.

Figura 3 – Número médio de galhas em plantas de alface com diferentes inoculações de diferentes microrganismos.



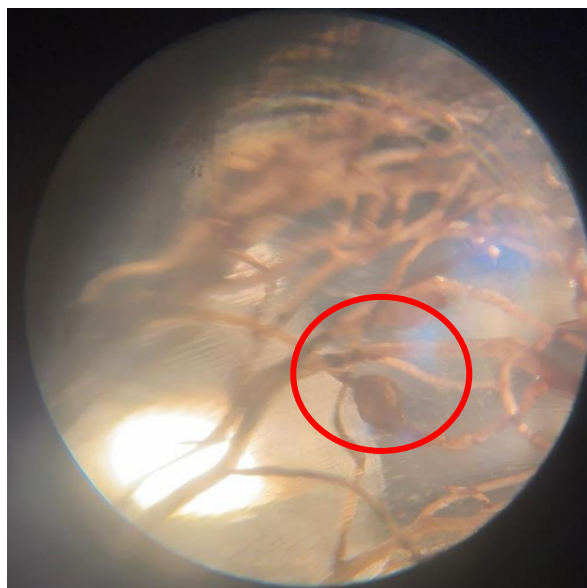
Fonte: Autor, 2025.

Em relação aos efeitos dos microrganismos no tamanho médio de galhas (TMG) e para o Posicionamento nas raízes (PG) podemos observar que o TMG reflete a capacidade dos nematóides estabelecer e reproduzir dentro das raízes; nisso os tratamentos observados na Tabela 3, BS-10 e *B. methylotrophicus*, foram os tratamentos mais eficientes em limitar a reprodução dos nematóides dentro das raízes, reduzindo a capacidade de formação de galhas volumosas, ambos apresentando nota 1, diferindo dos demais tratamentos. A redução do tamanho das galhas pode estar associada à ação de microrganismos antagonistas que produzem metabólitos tóxicos para os nematóides ou induzem resistência sistêmica nas plantas (Oliveira *et al.*, 2022). Trabalhos anteriores indicam que espécies de *Bacillus* spp. podem atuar na supressão de *Meloidogyne* spp. ao produzir compostos antimicrobianos e enzimas que degradam a parede celular dos ovos de nematóide (Ferreira *et al.*, 2021).

Por outro lado, os demais tratamentos com nota 2 indicam que esses

microrganismos não foram tão eficientes na restrição da formação de galhas pequenas e permitiram um nível de infecção superior ao observado para BS-10 e *B. methylotrophicus*. Ainda assim, o fato de nenhum tratamento ter atingido nota 3 sugere que todos apresentaram algum efeito de controle, evitando galhas grandes e reduzindo a severidade da infestação em comparação com infecções não controladas.

Figura 4 – Presença de galha observada em lupa para contagem.



Fonte: Autor, 2025.

O PG dentro de do sistema radicular (observado na Figura 5) é um outro fator muito importante para avaliar a disseminação da infestação e os danos causados pelos nematóides (Ponte Filho, 1991), pois determina que quanto mais distribuídas as galhas estiverem nas raízes, maior o comprometimento funcional do sistema radicular, prejudicando a absorção de água e nutrientes e impactando o crescimento da planta. Os tratamentos BS-10 e *B. methylotrophicus* receberam nota 2 (Tabela 3), indicando que as galhas estavam restritas às raízes principais e secundárias. Este resultado sugere que esses tratamentos limitaram a propagação da infecção para as raízes terciárias e quaternárias, reduzindo o impacto negativo na absorção de nutrientes.

É observado também que s tratamentos BS-Panta, Produto Comercial, *Streptomyces-26*, *Pochonia*, *T. asperellum*, *T. harzianum*. e Testemunha apresentaram a nota 3, conferindo a presença de galhas das raízes primárias à terciárias, o que reflete uma disseminação maior da infestação dentro do sistema radicular. Já o tratamento *T. pinatum*

foi o que apresentou a pior performance, com nota 4, indicando a presença de galhas em todas as partes do sistema radicular, incluindo as raízes quaternárias. Esse resultado corrobora com os valores observados no número médio de galhas, onde o *T. pinatum* apresentou uma infestação próxima da Testemunha, indicando baixa eficiência no controle.

Figura 5 – Presença de galha em diferentes locais nas raízes de alface.



Diante disso, a capacidade de limitar a distribuição das galhas pode estar relacionada à ação de microrganismos que induzem resistência sistêmica nas plantas, tornando o sistema radicular menos atrativo para a penetração de nematóides (Rodrigues *et al.*, 2020). Fungos como *P. chlamydosporia* e bactérias do gênero *Bacillus* spp. são relatadas na literatura como agentes eficientes na proteção do sistema radicular contra nematóides, reduzindo a severidade da infestação (Martins *et al.*, 2021).

Esses tratamentos reduziram significativamente o número médio de galhas, limitaram sua distribuição no sistema radicular e diminuíram a severidade da infestação. A ação desses microrganismos pode estar relacionada à produção de metabólitos antimicrobianos, parasitismo de ovos, competição na rizosfera e indução de resistência sistêmica nas plantas.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram que os microrganismos *Bacillus subtilis* (linhagens BS-10 e BS-Panta), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma harzianum* e o isolado STREPTO-26 apresentaram alta eficiência no controle biológico do nematoide *Meloidogyne incognita* na cultura da alface. Além do controle fitopatogênico, o STREPTO-26 destacou-se nas principais características agronômicas, promovendo maior diâmetro de caule (2,86 cm), elevada produção de matéria fresca da parte aérea (19,16 g) e valores expressivos de comprimento de raiz e matéria seca, evidenciando maior vigor vegetativo e potencial de incremento no rendimento comercial.

Dessa forma, os microrganismos avaliados se mostram como alternativas promissoras e sustentáveis, capazes de atuar tanto na proteção contra nematoides quanto na promoção do crescimento e da produtividade da alface, contribuindo para práticas agrícolas mais eficientes e ecologicamente equilibradas.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, T. B. F.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Biotemas**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p. 27-36, jun. 2022.
- ALVES, A. C. B. et al. (2023). Pesticide residues in vegetables and fruits from Brazil and risk assessment. **Food and Chemical Toxicology**, 178: 113–126.
- BONETTI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 553, 1981.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 35–44, 2001.
- CARVALHO FILHO, J. L. S. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* race 1 in the lettuce cultivars Grand Rapids and Salinas-88. **Euphytica**, v. 182, n. 2, p. 199-208, 2011.
- CASTRO, F. F. Atividade nematicida de isolados de *Bacillus* spp. em *Meloidogyne incognita*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.22407/2236-7934.2021.v16n2.e17001>
- CHAGAS, A. F. et al. Utilização de *Bacillus subtilis* como promotor de crescimento na cultura do tomate e alface. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 11, n. 4, p. 153-159, 2023.
- CHAGAS, L. F. B. et al. *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10-18, 2017.
- CHARCHAR, J. M.; MOITA, A. W. Reação de cultivares de alface à infecção por misturas populacionais de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *Meloidogyne javanica* em condições de campo. **Horticultura Brasileira**, v. 14, p. 185-189, 1996.
- CORABI-ADELL, C.; LUCON, C. M. M.; KOIKE, C. M. Biodiversidade do gênero *Trichoderma* no estado de São Paulo – Aspecto enzimático e potencial biocontrolador. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 69, p. 188-191, 2002.
- FARIA, C. M. D. R. Quantificação da patogenicidade de *Meloidogyne incognita*. 1990. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FERREIRA, R. T. et al. (2022). Perfil do consumo de hortaliças folhosas no Brasil:

implicações para o mercado e segurança alimentar. **Horticultura Brasileira**, 40(3): 289–295.

FREITAS, L. G. et al. (2020). Uso de agentes biológicos no controle de fitonematoides em hortaliças. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 15(2): 78–89.

GATTONI, K. M. et al. (2023). Mechanisms of action of *Bacillus velezensis* strain Bv-25 against *Meloidogyne incognita* in cucumber and field trials. **Frontiers in Microbiology**.

GOPALAKRISHNAN, S. et al. Evaluation of *Streptomyces* strains isolated from herbal vermicompost for their plant growth-promotion traits in rice. **Microbiological Research**, v. 169, n. 1, p. 40-48, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.008>

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

JUNIOR, A. F. C. et al. Ação de *Trichoderma* spp. no controle de *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*. **Agri-Environmental Sciences**, v. 4, n. 2, p. 9-15, 2018.

MARTINS, A. R. et al. (2021). Importância da alface na produção agroecológica e familiar brasileira. **Revista Verde de Agroecologia**, 16(1): 112–120.

MELO, D. R. S. et al. (2023). *Trichoderma* spp. as biocontrol agents against root-knot nematodes in lettuce: a greenhouse trial. **Biological Control**, 182: 105–120.

MOREIRA, A. C. S. et al. (2024). *Bacillus amyloliquefaciens* strain BaNCT02: antagonist with multiple mechanisms of action against *Meloidogyne incognita*. **Plant Pathology**, 74(2): 320–329.

OLIVEIRA, R. M.; SOUZA, L. P.; COSTA, F. G. Tendências do consumo de hortaliças no Brasil: um estudo de caso com foco na alface. **Revista Brasileira de Estudos Hortícolas**, v. 25, n. 2, p. 56-72, 2022.

PINHEIRO, J. B. et al. **Manejo de nematoides na cultura da alface**. 2013. Circular Técnica – Embrapa Hortaliças, Brasília.

PONTE, J. J. Novo método de avaliação da resistência à meloidoginose em caupi. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 163-169, 1991.

SAHLI, A. A. A.; ABDULKHAIR, M. W. Biocontrol of *Fusarium udum* diseases for some wheat cultivars by *Streptomyces spororaveus*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 1, p. 190-196, 2012. <http://dx.doi.org/10.5897/AJMR11.1299>

SANTOS, A. L.; ALMEIDA, J. R. Mudanças nos hábitos alimentares e o aumento do

consumo de vegetais frescos: evidências do mercado nacional. **Journal of Agricultural Trends**, v. 18, n. 1, p. 45-60, 2023.

SANTOS, C. L. et al. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 87-98, 2009.

SHARON, E. et al. Biological Control of the Root-Knot Nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. **Phytopathology**, v. 91, n. 7, p. 687–693, 2001.

SIKORA, A.; FERNANDEZ, E. Nematode parasites of vegetables. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (eds). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford, UK: CAB International, 2005. p. 319-392.

SILVA, P. Inovações tecnológicas e sustentabilidade na produção de alface: desafios e perspectivas. **Revista Agropecuária**, v. 12, n. 3, p. 130-145, 2023.

SILVA, D. R. A. et al. (2021). Agrotóxicos em hortaliças: análise de resíduos em feiras e supermercados do Brasil. **Brazilian Journal of Food Safety**, 12(4): 198–210.

SOUSA, C. S.; SOARES, A. C. F.; GARRIDO, M. S. Produção de mudas de tomateiro em substrato orgânico inoculado e incubado com estreptomicetos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 195-203, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100021>

SOUZA, J. P. et al. Comportamento de cultivares de alface no município de Iguatu-CE. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA**, 47. Anais... Porto Seguro: ABH, 2007. (CD-ROM).

WILCKEN, S. et al. Resistência de alface do tipo americana a *Meloidogyne incognita* raça 2. **Nematologia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 29, n. 2, p. 267-271, 2005.

Capítulo 2.

Microrganismos no controle biológico de *Meloidogyne incognita* e promoção de crescimento vegetal em alface

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça de grande importância alimentar, cultivada principalmente para consumo in natura. Seu cultivo tem se expandido em diversas regiões brasileiras, incluindo o estado do Tocantins, onde há incentivo ao uso de tecnologias sustentáveis e à redução do uso de agroquímicos. Um dos principais desafios é o controle de nematóides-das-galhas (*Meloidogyne* spp.), que comprometem o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, o uso de microrganismos como *Trichoderma*, *Bacillus* e *Streptomyces* surge como alternativa promissora de manejo biológico sustentável. Este estudo avaliou a eficácia de diferentes microrganismos como agentes antagonistas de *Meloidogyne incognita* em alface. Foram testados sete tratamentos: *Bacillus subtilis* UFT-Bs10, *B. subtilis* Bs-Panta, *Streptomyces* sp. UFT-26 (STREPTO-26), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma harzianum*, uma mistura (MIX) contendo todos os microrganismos testados, além da testemunha, em delineamento experimental com seis repetições. O isolado STREPTO-26 destacou-se pelo desempenho superior nas características agrônômicas, promovendo maior biomassa aérea (19,16 g), aumento do diâmetro de caule e maior comprimento e matéria seca das raízes, atuando também como agente antagonista eficaz. O tratamento MIX apresentou efeito sinérgico sobre o comprimento radicular (34,9 cm) e a biomassa aérea, enquanto Bs-10 e *Pochonia* reduziram a formação de galhas em mais de 90%. Esses resultados reforçam o potencial dos microrganismos benéficos, especialmente STREPTO-26, para controle biológico e promoção do crescimento da alface, reduzindo o uso de químicos e contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Nematóides-das-galhas, *Lactuca sativa* L., Microrganismos benéficos.

Microorganisms in the biological control of *Meloidogyne incognita* and promotion of plant growth in lettuce

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a leafy vegetable of great dietary importance, mainly cultivated for fresh consumption. Its cultivation has expanded in various regions of Brazil, including Tocantins state, where sustainable technologies and reduced agrochemical inputs are encouraged. One of the main challenges is the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), which compromise plant development. In this context, the use of microorganisms such as *Trichoderma*, *Bacillus*, and *Streptomyces* has emerged as a promising alternative for sustainable biological management. This study evaluated the efficacy of different microorganisms as antagonistic agents against *Meloidogyne incognita* in lettuce. Seven treatments were tested: *Bacillus subtilis* UFT-Bs10, *B. subtilis* Bs-Panta, *Streptomyces* sp. UFT-26 (STREPTO-26), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma harzianum*, a mixture (MIX) containing all tested microorganisms, and a control, in a design with six replications. The STREPTO-26 isolate stood out for superior agronomic performance, promoting higher aerial biomass (19.16 g), increased stem diameter, and improved root length and dry matter, while also acting as an effective antagonistic agent. The MIX treatment showed a synergistic effect on root length (34.9 cm) and aerial biomass, and Bs-10 and *Pochonia* reduced gall formation by over 90%. These results highlight the potential of beneficial microorganisms, particularly STREPTO-26, for both biological control and growth promotion in lettuce, reducing chemical use and supporting sustainable agricultural practices.

Keywords: Root-knot nematodes, *Lactuca sativa* L., Beneficial microorganisms.

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.), originária do Sul da Europa e na Ásia Ocidental, é uma olerícola cultivada para consumo *in natura*, principalmente em saladas, com grande importância na alimentação humana por estar presente em dietas diversificadas; sendo encontrada variedades de folhas, cores, texturas e tamanhos. (Carvalho, 2017; Oliveira *et al.* 2022). Pertencente da família das *Asteraceae*, esta cultura é amplamente cultivada no Brasil, ocupando um destaque na horticultura nacional, apresentando cerca de 85.000 ha de área plantada e uma produção de 1,5 milhão de toneladas por ano (EXAME, 2021).

Ferreira (2015) também destaca que no estado do Tocantins, observa-se uma crescente modernização de técnicas de cultivos que sejam favoráveis para o desenvolvimento da cultura, em que na cidade de Gurupi, o período de inverno é o mais indicado para o cultivo da alface e o sistema de túnel baixo com uso de mulching, sendo o mais recomendado.

O aumento do cultivo de alface está correlacionado com a crescente demanda por alimentos mais saudáveis, refletindo mudanças nos hábitos de consumo que valorizam a qualidade e segurança dos produtos agrícolas (Ferreira *et al.*, 2023). Entretanto, a elevação da produtividade agrícola enfrenta desafios significativos, como as mudanças climáticas que impactam negativamente o rendimento das culturas, além da necessidade de reduzir a dependência de fertilizantes e agroquímicos sintéticos, que podem prejudicar o meio ambiente e a saúde humana (Santos *et al.*, 2022).

Nesse cenário, a utilização de inoculantes microbianos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e agentes de controle biológico tem crescido rapidamente, oferecendo uma alternativa sustentável para aumentar a produtividade e reduzir custos de produção, além de garantir a segurança alimentar durante o ciclo da cultura (de Souza *et al.*, 2023). Os MPCP são reconhecidos por sua capacidade de estimular o crescimento vegetal, melhorar a absorção de nutrientes e atuar como agentes biológicos de controle de pragas e doenças (Glick, 2017; Singh *et al.*, 2021).

Entre as diversas fitopatógenos que causam prejuízos na cultura da alface, os fitonematoides, especialmente os nematoides de galhas do gênero *Meloidogyne*, são os mais críticos, apresentando alta incidência em várias regiões agrícolas do Brasil (Pinheiro *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2021). Estes nematoides parasitam as raízes da planta, causando a formação de galhas que prejudicam a absorção de água e nutrientes, resultando em redução da produtividade e qualidade dos frutos, podendo inviabilizar o

cultivo em áreas altamente infestadas (Jones *et al.*, 2013; Embrapa, 2023).

No controle biológico desses nematoides, destacam-se inimigos naturais como ácaros, fungos e bactérias antagonistas, com especial atenção às rizobactérias do gênero *Bacillus*, que têm demonstrado alta eficiência no manejo dessas pragas (Huang *et al.*, 2020; Larriba *et al.*, 2014). Essas bactérias produzem enzimas proteolíticas e substâncias nematicidas que degradam a cutícula dos nematoides, interrompendo seu ciclo de vida e reduzindo a população no solo (Li *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2023).

Uma outra abordagem promissora é o uso de *Trichoderma*. como alternativa que serve de agente de controle biológico, especialmente para controle de nematóides de galha, parasitando ovos e juvenis de *Meloidogyne*., reduzindo a população da praga no solo e evitando danos às plantas hospedeiras (MAFESSONI *et al.*, 2019). Além disso, apresentam uma série de benefícios para a produtividade da alface, além da proteção da planta desde a fase de germinação, como servindo na parte de promoção de crescimento vegetal (RIBEIRO *et al.*, 2023), redução significativa nos custos de produção e na utilização de químicos, auxiliando na preservação do meio ambiente (CHAGAS *et al.*, 2024). Considerando a curta duração do ciclo da alface, é de suma importância avaliar a eficiência de tais agentes biológicos dentro desse período, confirmando que o controle venha ser efetivo durante todo o desenvolvimento da cultura em questão (DOMINGUES, 2021).

Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia de diferentes microrganismos benéficos no controle de *Meloidogyne icognita* na cultura da alface, visando contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e eficientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em bancada ao ar livre localizado na Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi (11°48'29''S, 48°56'39''W, 280 m altitude), localizada na região Sul do estado do Tocantins, com clima predominante do tipo Aw, sendo Tropical Semiúmido, com estação chuvosa de outubro a abril e seca, de maio a setembro e, de acordo com INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, apresentando índices pluviométricos de 1.750 mm anuais.

As cepas de *Trichoderma*. e *Bacillus* foram obtidas no Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia (AGROBIO PPG-PV) localizado na própria universidade, onde estão armazenadas.

As cepas de fungos foram cultivadas em meio líquido no meio de cultura BD (20% de infusão de batata, 2%), em Erlenmeyer de 250 mL, e as estirpes de *Bacillus* e *Streptomyces*-26, também foram inoculadas em Erlenmeyer de 250 mL contendo meio caldo nutriente (Peptona de carne 5 g/L; extrato de carne 3 g/L; água destilada e pH 7,4), todos esterilizados (autoclavados a 121 °C por 20 minutos). Os microrganismos foram assepticamente inoculados a temperatura ambiente e incubados em câmara incubadora Shaker, com agitação orbital, a 28±2 °C e fotoperíodo de 12 h durante três dias.

A amostra de fitonematóide foi obtida na própria Universidade, caracterizado pela observação visual em microscópico óptico de acordo com características estudadas nas literaturas e multiplicados. O cultivo e multiplicação ocorreram no viveiro de produção de mudas localizado na estação experimental – Campus Gurupi, em vasos do tipo jardineira, utilizando alface, quiabo e jiló como plantas hospedeiras.

Para experimento, foi feita uma mistura na proporção de 2:1 de substrato comercial usado para mudas de hortaliças e solo coletado em área de cultivo na estação experimental da UFT, em sacos de 10 L. As sementes utilizadas foram da variedade comercial SVR 5000. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com sete tratamentos e seis repetições, com avaliação no final do período de cultivo. Os tratamentos utilizados foram: *Bacillus subtilis* UFT-Bs10, *B. subtilis* Bs-Panta, *Streptomyces* sp. UFT26, *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma harzianum* e uma MIX (junção de todos os microrganismos testados) e a Testemunha, inoculando 1 mL de solução de cada no colo da planta.

Foram semeadas cinco sementes por vasos e, após a planta apresentar entre a 3ª e 4ª folha definitiva, foi realizada o desbaste, deixando uma planta por saco e seguido da inoculação dos nematóides, adotando a técnica desenvolvida por Hussey e Becker (1973) adaptada por Bonetti e Ferraz (1981). Posteriormente, com auxílio de uma câmara de contagem de Peter, a partir de alíquotas de 1 mL, foi efetuada a contagem dos nematóides presentes na solução. No colo de cada planta de alface foram inoculados aproximadamente 2.100 ovos (J2) em 1 mL de solução de nematóides.

Figura 1 – Inoculação da solução contendo nematóides no colo da planta de alface.



Fonte: Autor, 2025.

Aos 30 dias após a inoculação, as plantas foram cuidadosamente colhidas dos vasos, iniciando com as raízes limpas em água corrente para retirada do substrato aderido e, em seguida, realizou-se a avaliação de determinação das características agrônômicas: comprimento de raiz (CR) com uso de uma régua graduada; altura da planta (AP), com régua graduada; quantidade de folhas (QF), realizada contagem individual; massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da parte aérea (MSPA), estabelecidas com uma balança de precisão.

Para os tratamentos que receberam a inoculação de nematóides, também foram avaliadas: número médio de galhas (NMG): após a lavagem em água corrente, em cada planta, foi contado o número médio de galhas em todo o sistema radicular livres de substrato; tamanho médio de galhas (TMG): as galhas foram classificadas em tamanho de acordo com escala de notas, conforme Faria (1990), em que: 1 – galhas pequenas possuíam somente uma fêmea; 2 – galhas de tamanho médio de 2 a 3 fêmeas; e 3 – galhas grandes mais de três fêmeas); posicionamento de galhas (PG): foram avaliados segundo uma escala de notas, sugerido por Ponte Filho (1991), em que: 0 – ausência de galhas nas raízes; 1 – presença de galhas unicamente na raiz principal; 2 – galhas presentes na raiz principal e secundárias; 3 – galhas presentes nas raízes primárias, secundárias e terciárias; 4 – galhas presentes nas raízes primárias, secundárias, terciárias e quaternárias.

Em seguida, todos os materiais avaliados foram colocados para secagem em estufa a 65 °C por 72 h até atingir a massa constante e pesada em balança analítica para obter os valores das características de massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA).

Os dados foram submetidos ao método de ANOVA (Análise de Variância), seguido do teste de comparação de médias Scott-Knott, considerando um nível de erro

de 5%. As análises foram realizadas com o software Rstudio, permitindo uma avaliação rigorosa das diferenças significativas entre os tratamentos e contribuindo para uma interpretação precisa dos resultados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características Agronômicas

A análise dos dados agronômicos permitiu verificar que os tratamentos com microrganismos apresentam diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação à Testemunha para a maioria das variáveis analisadas, evidenciando o potencial desses agentes biológicos no manejo de nematóides em alface, no qual podemos verificar que o comprimento radicular (CR) foi significativamente maior no tratamento MIX (34,9 cm), se diferenciando estatisticamente da Testemunha, com incremento de 21,60% e sendo superior dos demais tratamentos apresentados (Tabela 1). Essa superioridade aos demais tratamentos pode estar relacionado ao efeito sinérgico entre os diferentes microrganismos utilizados, os quais atuam na complementação para promoção de crescimento quanto na supressão de fitonematóides, confirmando que essa combinação tem maior potencial de estimular o desenvolvimento radicular por múltiplos mecanismos, como solubilização de nutrientes, produção de fitormônios (auxinas e citocininas), maior indução de resistência sistêmica nas plantas (MELO *et al.*, 2021; CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2023).

Segundo Chagas Junior *et al.* (2023), a combinação de bactérias promotoras de crescimento com fungos antagonistas resulta em melhor colonização da rizosfera e maior eficiência fisiológica da planta, corroborando com os resultados apresentados do presente estudo. Em seguida, os tratamentos *T. harzianum* (32,7 cm), Bs10 (31,7 cm) e *Pochonia* (31,4 cm), também obtiveram diferenças significativas ($p < 0,05$) da Testemunha e dos outros tratamentos, apresentando um ganho de 13,94; 10,45 e 9,41% respectivamente com inoculação dos microrganismos, no qual, os demais tratamentos não tiveram diferenças estatísticas entre si ($p < 0,05$) e nem com a Testemunha (28,7 cm). A importância de um sistema radicular bem desenvolvido é essencial para uma maior absorção de nutrientes e água, ajudando na tolerância das plantas em relação aos fatores externos. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2022), que observaram maior desenvolvimento radicular em plantas tratadas com *Trichoderma*, devido à produção de metabólitos que estimulam o crescimento vegetal.

Tabela 1. Influência dos tratamentos a base de fungos e bactérias testados na cultura da Alface nas variáveis comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC), diâmetro de cabeça (D.CAB), matéria fresca da raiz (MFR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA).

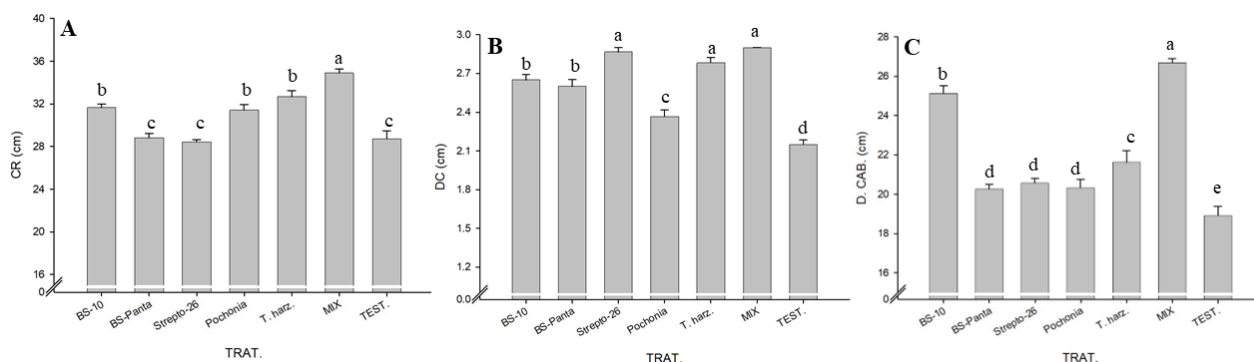
TRATAMENTOS	CR	D.C	D.CAB	MFR	MFPA	MSR	MSPA
BS-10	31.7 b	2.65 b	25.13 b	5.426 c	15.100 c	0.406 d	2.354 d
BS-PANTA	28.9 c	2.6 b	20.26 d	7.582 b	11.988 d	0.949 b	2.450 d
STREPTO-26	28.5 c	2.87 a	20.56 d	6.616 b	19.166 a	1.147 b	5.033 a
POCHONIA	31.4 b	2.36 c	20.33 d	5.106 c	9.785 e	1.130 b	4.020 b
T. HARZ.	32.7 b	2.78 a	21.63 c	8.531 a	16.657 b	1.104 b	3.773 b
MIX	34.9 a	2.9 a	26.7 a	7.184 b	19.499 a	1.660 a	3.005 c
TEST.	28.7 c	2.15 d	18.91 e	5.217 c	11.936 d	0.701 c	4.059 b
CV*	3.78%	3.74%	4.16%	11.78%	5.12%	23.5%	9.61%

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). *CV = coeficiente de variação.

Na Tabela 1, podemos analisar a variável diâmetro de caule (DC) no qual houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos, sendo os melhores *Streptomyces-26*, *T harzianum* e MIX (2,87 cm, 2,78 cm e 2,9 cm respectivamente), superando estatisticamente a testemunha (2,15cm), apresentando um desempenho positivo de 33,49; 29,30 e 34,88%. Os tratamentos com as bactérias Bs10 e Bs-Panta não diferiram entre si ($p < 0,05$), mas sobressaíram melhor que a Testemunha e da *Pochonia* (2,36 cm) (Figura 2-B). Estudos como os de Oliveira *et al.*, (2021) confirmam que microrganismos benéficos promovem o engrossamento de colo devido à indução de resistência sistêmica e o aumento da absorção de nutrientes. Domingues *et al.* (2021) também observaram que a inoculação de *Trichoderma* spp. resultou em aumentos significativos no diâmetro do caule de cultivares de alface, evidenciando o potencial desse fungo como promotor de crescimento vegetal.

Figura 2. Comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC) e diâmetro de cabeça (D.CAB) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos.

Fonte: Autor, 2025.



No diâmetro de cabeça (D.CAB.), o tratamento MIX (26,7 cm) se destacou estatisticamente ($p < 0,05$) entre os demais, com ganho de 40,90% em relação a testemunha, seguido por Bs10 (32,61%) e *T. harzianum* (14,14%), enquanto a testemunha apresentou o menor valor (18,95 cm) (Tabela 1). Isso nos propõem que os microrganismos utilizados podem contribuir para o desenvolvimento da parte aérea da alface, promovendo uma melhor quantidade de folhas e maior comercialização do produto, conforme relatado por Almeida *et al.*, (2020), que verificaram aumento na biomassa foliar de alface tratada com bioestimulantes. Trabalhos de Carvalho *et al.* (2011) relataram que a inoculação de *Trichoderma* spp. promoveu o crescimento de alface americana, resultando em aumento significativo na produtividade, incluindo melhoras no diâmetro de cabeça.

Na avaliação para a massa seca da raiz (MSR) o tratamento com *T. harzianum* foi maior (8,531 g) entre os demais tratamentos testados, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$), sendo superior a Testemunha (5,217 g) apresentando um efeito positivo de 63,52%. Os tratamentos Bs-Panta, *Streptomyces-26* e MIX também se sobressaíram positivamente, sendo superiores à testemunha em 39,58; 26,82 e 37,70% de ganho, respectivamente (Tabela 1). Esse aumento pode ser atribuído à capacidade dos microrganismos de estimular a produção de auxinas e citocininas, que promovem o crescimento radicular.

Segundo Costa *et al.* (2019), fungos do gênero *Trichoderma* podem promover maior desenvolvimento radicular devido à solubilização de nutrientes e à liberação de fitormônios. Quanto aos resultados discutidos, observou-se que a aplicação de *Bacillus subtilis* pode ter efeitos significativos no crescimento radicular da alface. Oliveira Júnior (2020) investigou o uso desse microrganismo na cultivar Elba e constatou que a aplicação de 1000 mL/ha resultou em uma massa seca de raiz de 0,7 g/planta, valor superior ao da

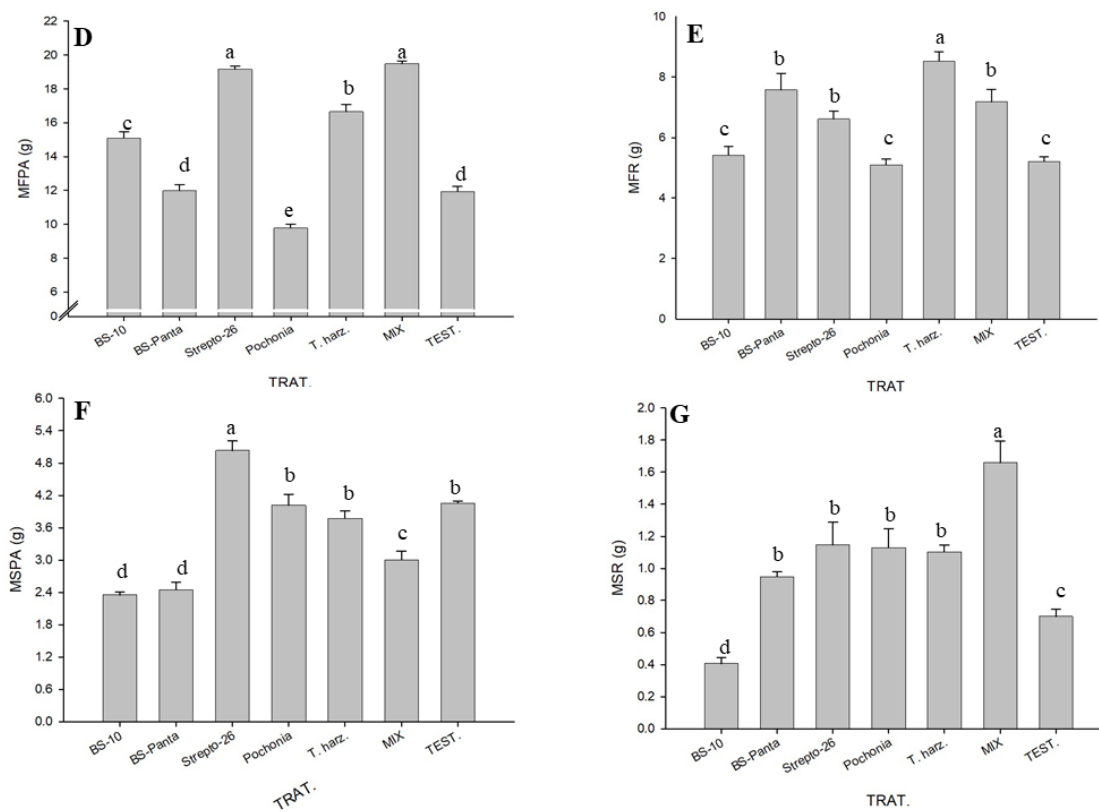
testemunha. Esses dados reforçam a eficiência de *B. subtilis* como bioestimulante, promovendo melhor desenvolvimento radicular.

Chagas *et al.* (2023) também relataram resultados positivos em mudas de alface e tomate submetidas à inoculação com *B. subtilis*. No caso da alface, foi observado um incremento de 21,67% na massa seca da parte aérea em relação à testemunha. Embora os autores não tenham especificado os dados de massa seca da raiz, os efeitos positivos sobre a parte aérea indicam um possível estímulo geral ao crescimento vegetal, inclusive no sistema radicular, promovido por metabólitos secundários e fitormônios associados ao microrganismo.

A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi maior nos tratamentos *Streptomyces-26* (19,166 g) e MIX (19,499 g), enquanto a testemunha obteve 11,936 g, essa diferença resultou em um ganho de massa fresca de 60,57% para *Streptomyces-26* e 63,36% para o MIX ($p < 0,05$). Essa caracterização é um indicador direto da produtividade da cultura, demonstrando que o uso de agentes biológicos melhora significativamente o crescimento vegetativo. De acordo com trabalho de Chagas *et al.* (2023), a combinação de *B. subtilis* com outros microrganismos, como *T. harzianum*, pode gerar efeitos complementares no desenvolvimento de culturas hortícolas, promovendo ganhos tanto na parte aérea quanto no sistema radicular. Da mesma forma, Mendes *et al.* (2023) observaram que o uso de consórcios de microrganismos aumentou significativamente a produção de biomassa fresca em hortaliças folhosas.

No caso do tratamento MIX, a presença de bactérias do gênero *Bacillus* e *Streptomyces* pode estar diretamente relacionada ao aumento expressivo da massa fresca da parte aérea (MFPA) e da massa seca da raiz (MSR), já que esses microrganismos são conhecidos por estimular a produção de auxinas e outros reguladores de crescimento vegetal, conforme relatado por Lima *et al.* (2023) e Araújo *et al.* (2020).

Figura 3. Matéria fresca da aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR) de plantas de alface inoculadas com diferentes microrganismos.



Fonte: Autor, 2025.

Em relação à massa seca das raízes (MSR), o tratamento MIX apresentou o maior valor médio (1,660 g), sobressaindo ($p < 0,05$), sobre todos os tratamentos, incluindo a testemunha (0,701 g), com ganho de 136,80%. Esse resultado indica que os microrganismos utilizados podem melhorar a qualidade e a longevidade das raízes, o que pode ser um diferencial na adaptação a solos infestados por patógenos. Ribeiro *et al.* (2021) relataram aumento na biomassa radicular com a aplicação de agentes biocontrole. O tratamento Bs10 foi o que apresentou menor resultado, apresentando uma média de 0,406 g.

No estudo de Martins Filho *et al.* (2019), foi avaliado o uso conjunto de *Pseudomonas* sp. e *T. aureoviride* no cultivo de alface, e os resultados mostraram um aumento significativo na altura das plantas, na matéria seca tanto da parte aérea quanto das raízes, além de maiores níveis de clorofila. Esses dados reforçam a eficiência da interação entre esses microrganismos na promoção do crescimento vegetal, o que vai ao encontro dos efeitos observados no atual experimento com o tratamento MIX.

Por fim, a massa seca da parte aérea (MSPA) foi superior no tratamento

Streptomyces-26 (5,033 g) com incrementação de 24% após a inoculação. A testemunha (4,059 g) não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos *Pochonia* e *T. harzianum* (4,020 e 3,773 g). O efeito positivo dos microrganismos sobre a parte aérea está relacionado à sua capacidade de reduzir o impacto dos nematoides, melhorando a absorção de água e nutrientes (SANTOS *et al.*, 2022). A acumulação de biomassa seca é um importante indicador da produtividade final e da qualidade da planta para comercialização.

A aplicação dos microrganismos, isoladamente ou em consórcio (MIX), apresentou correlação positiva com comprimento radicular, biomassa aérea, diâmetro de caule e massa seca. Esses achados indicam que os microrganismos, além de controlarem eficazmente *Meloidogyne incognita*, favorecem o crescimento e desenvolvimento da alface

Embora existam poucos estudos específicos sobre a aplicação de *Streptomyces* na cultura da alface, pesquisas conduzidas em outras espécies vegetais evidenciam o potencial desse gênero bacteriano como agente promotor de crescimento. Martins (2017), por exemplo, avaliou a eficácia de isolados de *Streptomyces* spp. no biocontrole de fitopatógenos e na promoção do crescimento em culturas como soja e feijão-caupi. Os resultados demonstraram que determinados isolados não apenas foram eficientes no controle de patógenos, mas também proporcionaram aumentos significativos na biomassa das plantas, indicando o potencial uso de *Streptomyces* como biofertilizante.

O isolado STREPTO-26 destacou-se entre os tratamentos avaliados, apresentando o maior diâmetro de cabeça (25,60 cm), maior diâmetro de caule e os valores mais elevados de matéria fresca da parte aérea (19,16 g) e de matéria seca da raiz e da parte aérea (1,147 g e 5,033 g, respectivamente). Esses resultados indicam vigor vegetativo superior, maior capacidade de sustentação da planta e potencial para aumento do rendimento comercial da alface.

Além disso, o desempenho do STREPTO-26 complementa os efeitos observados em outros microrganismos, como o MIX e o Bs10, que se destacaram pelo controle das galhas e desenvolvimento radicular. Dessa forma, diferentes microrganismos podem atuar de maneira complementar, contribuindo tanto para a proteção contra nematoides quanto para a melhoria da produtividade e da qualidade da cultura.

A correlação positiva observada reforça que os microrganismos, em especial o STREPTO-26, desempenham dupla função: como agentes antagonistas do nematoide e como promotores de crescimento vegetal. Tais resultados evidenciam o potencial de

consórcios microbianos na melhoria da produtividade e qualidade da alface, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis

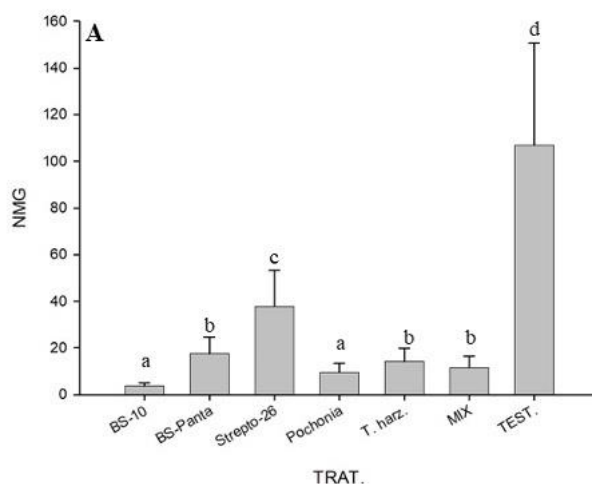
3.2 Avaliações do Controle de Nematóides-de-galhas

Os tratamentos com Bs10 e *Pochonia* apresentaram o menor número médio de galhas (4 e 10, respectivamente), representando um controle de galhas em 96,26 e 90,65%, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais (Figura 4). Ademais, para todos os tratamentos, houve controle de nematóides-de-galhas, já que foram superiores à testemunha pelo controle de galhas. Estes resultados indicam uma significativa redução na formação de galhas em relação à testemunha, que apresentou uma infestação muito maior (107 galhas). A eficácia de Bs10 pode estar relacionada às ações de biocontrole do *Bacillus subtilis*, que atua através da produção de metabólitos antifúngicos e indutores de resistência (Silva *et al.*, 2022).

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia do uso de agentes biológicos no controle de nematoides em diferentes culturas, como exemplo, Pacheco *et al.* (2021) verificaram que isolados de *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma* sp. foram capazes de reduzir significativamente as populações de *Pratylenchus brachyurus* em sistemas de cultivo de soja e milho, evidenciando o potencial desses microrganismos como agentes de biocontrole. Espécies do gênero *Trichoderma*, como *T. longibrachiatum*, *T. viride* e *T. harzianum*, também têm sido associadas à atividade nematicida, por meio da produção de enzimas hidrolíticas, como quitinase e proteases, que degradam as estruturas dos ovos e larvas de nematoides, contribuindo para a redução da infestação (Zhu *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2020).

No que se refere ao uso de *Bacillus subtilis*, Jiang *et al.* (2021) destacam que essa bactéria é capaz de sintetizar metabólitos secundários, como fengicina e surfactina, que apresentam atividade nematicida ao comprometerem a integridade das membranas celulares dos nematoides, resultando na sua morte.

Figura 4 –Número médio de galhas em raízes de alface inoculadas com diferentes microrganismos.



Fonte: Autor, 2025.

Os tratamentos Bs-Panta (83,17%), *Pochonia* (90,65%) e MIX (88,78%) também demonstraram eficiência na redução da população de galhas (Tabela 2) (Figura 4), sugerindo que o uso combinado de microrganismos pode ser uma estratégia promissora no manejo de nematoides. Estudos recentes destacam que o uso de agentes biocontrole, como *Trichoderma* spp. e *Pochonia* spp., pode reduzir significativamente a severidade da infecção (Ribeiro *et al.*, 2023).

O tratamento com *Streptomyces-26* apresentou um NMG de 38, sendo estatisticamente inferior ($p < 0,05$) à testemunha (controlando 64,48% de galhas), mas ainda assim apresentou mais presença de galhas que os demais tratamentos. *Streptomyces* spp. são conhecidos pela produção de compostos bioativos que podem reduzir a infestação por nematoides, mas a sua eficiência pode depender da concentração e do modo de aplicação (Oliveira *et al.*, 2021). Adicionalmente, a combinação de diferentes agentes biocontroladores tem mostrado resultados promissores.

Figura 5 – Presença de galhas nas diferentes localizações das raízes de alface.



Siddiqui & Ehteshamul-Haque (2001) relataram que a aplicação conjunta de *Pochonia chlamydosporia* e *Pseudomonas aeruginosa* resultou em uma redução mais significativa de *Meloidogyne javanica* em comparação com a aplicação isolada de cada agente.

Tabela 2. Influência dos tratamentos a base de fungos e bactérias testados na cultura da Alface para controle de nematoide-de-galhas, nas variáveis número médio de galhas (NMG), tamanho médio de galhas (TMG) e posicionamento de galhas (PG).

TRATAMENTOS	NMG	TMG (NOTA)	PG (NOTA)
BS-10	4 a	1	2
BS-PANTA	18 b	2	3
STREPTO-26	38 c	2	2
POCHONIA	10 a	2	3
T. HARZ.	14 b	2	3
MIX	12 b	2	3
TEST.	107 d	2	3
CV*	17,81%	36,23%	31,06%

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). *CV = coeficiente de variação.

Para a variável do tamanho das galhas foi classificado de acordo com a escala de Faria (1990). Todos os tratamentos apresentaram galhas de tamanho médio (nota 2), com exceção de Bs10, que obteve nota 1, indicando a presença predominante de galhas pequenas, contendo apenas uma fêmea. Esse resultado reforça a ação limitante do *B. subtilis* sobre o desenvolvimento dos nematoides nas raízes, possivelmente pela produção de metabólitos que inibem a formação das células gigantes e a expansão dos danos. Resultados semelhantes foram observados por Jiang et al. (2021), que reportaram uma redução de até 72% no número de galhas em tomateiros tratados com *B. subtilis*.

O posicionamento das galhas (Figura 5) é um indicador da extensão da infestação nas raízes. Todos os tratamentos apresentaram nota 2 ou 3, enquanto a testemunha teve nota 3, indicando uma maior distribuição das galhas nas raízes primárias, secundárias e terciárias. Embora os tratamentos biológicos não tenham impedido totalmente a formação das galhas, eles reduziram a sua quantidade e o seu tamanho, o que pode diminuir o impacto dos nematoides na absorção de nutrientes e no crescimento das plantas (SANTOS et al., 2021).

Além disso, mesmo que os tratamentos com outros microrganismos não tenham

impedido completamente a formação de galhas, foi evidente a redução tanto no número quanto no tamanho dessas estruturas, o que pode estar associado à menor reprodução dos nematoides e, conseqüentemente, a um impacto menor na absorção de nutrientes. Moosavi *et al.* (2010) também demonstraram esse efeito ao aplicar *Pochonia chlamydosporia* em plantas infectadas com *Meloidogyne javanica*, obtendo uma redução expressiva no número de ovos e galhas formadas.

Esses dados sugerem que o uso de microrganismos como *Bacillus* e *Pochonia* tem potencial para compor estratégias sustentáveis de manejo de nematoides, principalmente por reduzir a severidade da infestação e preservar o sistema radicular. Inclusive, aplicações combinadas, como as de *B. nematocida* e *P. chlamydosporia*, mostraram resultados superiores aos tratamentos isolados, conforme relatado por Zhang *et al.* (2022), o que reforça a importância de explorar consórcios de microrganismos no controle biológico.

CONCLUSÕES

A aplicação de microrganismos benéficos mostrou-se uma estratégia eficaz para o manejo de *Meloidogyne incognita* e para a promoção do crescimento da alface. O tratamento MIX apresentou os melhores resultados em termos de crescimento radicular, com maior massa seca e alta eficiência no controle das galhas, enquanto o *Bacillus subtilis* (Bs10) se destacou pelo controle direto das galhas, reduzindo em 96,26% sua ocorrência e favorecendo o desenvolvimento radicular.

Além disso, o isolado STREPTO-26 destacou-se pelo desempenho superior em variáveis de elevada importância agrônômica, apresentando maior diâmetro de cabeça, biomassa da parte aérea e matéria seca da raiz e da parte aérea, indicando maior vigor vegetativo e potencial para aumento da produtividade e da qualidade da cultura. Tratamentos com *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma harzianum* também contribuíram positivamente, especialmente no desenvolvimento da parte aérea.

De forma geral, os dados reforçam que esses microrganismos podem atuar de maneira complementar, tanto no controle dos nematoides quanto na promoção do crescimento da planta. Assim, o uso desses agentes biológicos se mostra como uma alternativa viável, sustentável e alinhada a um manejo moderno e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. P. *et al.* Efeito de bioestimulantes microbianos no crescimento e desenvolvimento de alface. **Revista Brasileira de Horticultura**, v. 36, n. 4, p. 25-32, 2020.
- ALMEIDA, J. P. *et al.* Uso de biocontrole na redução de fitonematoides em hortaliças. **Revista Brasileira de Nematologia**, v. 45, n. 1, p. 67-78, 2023.
- ARAÚJO, J. M. *et al.* Estímulo ao crescimento vegetal por actinobactérias e sua aplicação na agricultura sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 823–829, 2020.
- BETTIO, D. P.; CACEFO, V.; ARAUJO, F. F. Controle biológico de nematóides em alface com *Bacillus subtilis*. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 12, p. 23-29, 2016. Número Especial.
- BONETTI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 553, 1981.
- CARVALHO, P. H. **Controle biológico e alternativo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em tomateiro**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.
- CHAGAS, A. C. J. *et al.* Desempenho de *Bacillus subtilis* no crescimento de mudas de alface e tomate em condições controladas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 102–110, 2023.
- CHAGAS, L. F. B. *et al.* *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **Agric Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10-18, 2017.
- CHAGAS-JÚNIOR, A. F. *et al.* *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf & Nirenberg) como promotor de crescimento em *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. 1-17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509864187>.
- COSTA, R. S. *et al.* *Trichoderma* spp. como promotor do crescimento vegetal e no controle de patógenos do solo. **Agronomia e Sustentabilidade**, v. 5, n. 2, p. 78-91, 2019.
- DOMINGUES, M. L. *et al.* Potencial de *Trichoderma atroviride* como promotor de crescimento vegetal em diferentes cultivares de alface. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 4, p. 511–516, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i4.10435>.
- DOMINGUES, S. C. *et al.* Microrganismos como promotores de crescimento em cultivares de alface. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 100-105, 2021.
- EMBRAPA. **Manejo integrado de nematoides em hortaliças**. Circular Técnica Embrapa Hortaliças, Brasília, 2023.

EXAME. **Mercado de alface cresce continuamente no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-alface-cresce-continuamente-no-brasil/>. Acesso em: 01 fev. 2025.

FARIA, C. M. D. R. **Quantificação da patogenicidade de *Meloidogyne incognita***. 1990. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1990.

Ferreira, R. T. et al. Ocorrência e impacto dos nematoides de galhas em hortaliças brasileiras. **Horticultura Brasileira**, 39(4), 320-327, 2021. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620210407>

FERREIRA, L. M. *et al.* Ação de *Bacillus subtilis* na indução de resistência contra *Meloidogyne* spp. **Cadernos de Fitopatologia**, v. 12, n. 3, p. 119-130, 2020.

FERREIRA, L. M. *et al.* Biocontrole de fitopatógenos: uma estratégia sustentável para a produção agrícola. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 112-125, 2023.

FERREIRA, S. *et al.* Caracterização de famílias F2:3 de alface para resistência ao nematoide de galhas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, p. 35-42, 2013.

FERREIRA, T. A. **Modalidades e épocas de cultivo da alface em Gurupi** – TO. 2015. 13 f. Dissertação — Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, 2015.

Glick, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, 2017, 1–15, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9274235>

Huang, X. et al. *Bacillus* spp. as biological control agents against root-knot nematodes in cucumber. **Applied Soil Ecology**, 146, 103365, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103365>

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

Jones, J. T. et al. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, 14(9), 946-961, 2013. <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>

JIANG, Y. et al. Antagonistic activity of *Bacillus subtilis* against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* mediated by volatile compounds and lipopeptides. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1510036.

KHAN, M. R. et al. Biocontrol potential of *Trichoderma* spp. against root-knot nematodes: a review. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, n. 1, p. 1–8, 2020. DOI: 10.1186/s41938-020-00275-z.

LARRIBA, E. *et al.* Sequencing and functional analysis of the genome of a nematode egg-parasitic fungus, *Pochonia chlamydosporia*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 65, p. 69-80, 2014.

Li, T. et al. *Bacillus subtilis* suppresses root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and enhances plant growth. **Scientific Reports**, 9, 12088, 2019.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-48581-8>

LIMA, E. C. et al. Interação entre microrganismos promotores de crescimento e o desenvolvimento radicular de hortaliças. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 567–575, 2023.

MAFESSONI, A. B. **Manejo biológico de *Meloidogyne* spp. no cultivo de tomate em ambiente protegido em solo autoclavado e contaminado**. 2019. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) — Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2019.

MARTINS FILHO, J. A. et al. Promoção do crescimento de alface com *Pseudomonas* sp. e *Trichoderma aureoviride*. **Revista Agroambiente On-line**, v. 13, n. 4, p. 323–330, 2019. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v13i4.5900.

MARTINS, C. M. **Isolados de *Streptomyces* spp. no biocontrole de fitopatógenos e promoção de crescimento vegetal**. 2017. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MENDES, F. R. et al. Biofertilizantes microbianos e o aumento da biomassa foliar em culturas folhosas. **Pesquisa em Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, p. 201-215, 2023.

MENDES, R. F. et al. Efeito de consórcios microbianos sobre a biomassa de hortaliças folhosas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 2, p. 1–9, 2023.

MOOSAVI, M. R.; ZARE, R.; ZAMANI, Z. *In vitro* and *in vivo* antagonism of *Pochonia chlamydosporia* against root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) on tomato. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 20, p. 131–135, 2010.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. Histórico, evolução e tendências. In: MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. cap. 1, p. 744.

NIU, Q. H. et al. A neutral protease from *Bacillus nematocida*, another potential virulence factor in the infection against nematodes. **Archives of Microbiology**, v. 185, p. 439-448, 2006.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de. **Aplicação de *Bacillus subtilis* e *Trichoderma harzianum* na produção de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193853>. Acesso em: 04 abr. 2025.

OLIVEIRA, C. M. G. Panoramas das doenças e pragas em horticulturas: doenças causadas por nematóides. **Biológico**, São Paulo, v. 69, p. 85, 2022.

OLIVEIRA, T. C. et al. Indução de resistência e engrossamento do colo em alface por microrganismos benéficos. **Journal of Plant Science**, v. 29, n. 1, p. 55-67, 2021.

OLIVEIRA, T. C. et al. *Streptomyces* spp. no biocontrole de fitonematóides em cultivos comerciais. **Pesquisa em Fitossanidade**, v. 18, n. 2, p. 88-95, 2021.

- PACHECO, P. H. P. et al. *Trichoderma* and *Pochonia* in the management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean and maize. **Nematology**, v. 23, n. 6, p. 619–632, 2021. DOI: 10.1163/15685411-bja10147.
- Pinheiro, J. B. et al. **Manejo de fitonematoides em hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Circular Técnica, 2022.
- PONTE, J. J. Novo método de avaliação da resistência à meloidoginose em caupi. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 163-169, 1991.
- RIBEIRO, A. S. N. et al. Efficiency of *Trichoderma* and *Bacillus subtilis* as growth promoters in eucalyptus *Corymbia citriodora*. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 11, p. 20380–20397, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-097>.
- RIBEIRO, V. P. et al. Eficácia de agentes biocontrole na supressão de nematoides em solos infestados. **Journal of Agricultural Science**, v. 56, n. 4, p. 210-225, 2023.
- RIBEIRO, V. P. et al. Uso de agentes biocontrole no desenvolvimento radicular e sanidade do solo. **Revista de Fitopatologia Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 87-102, 2021.
- SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 195-212, jun. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>. Acesso em: 01 fev. 2025.
- SANTOS, M. C. et al. Estratégias biológicas para o manejo de fitonematoides em hortaliças. **Revista de Agroecologia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 37-49, 2021.
- SANTOS, M. C. et al. Redução do impacto de nematoides e melhora na absorção de nutrientes com microrganismos benéficos. **Agroecologia Aplicada**, v. 11, n. 2, p. 44-59, 2022.
- SIDDIQUI, I. A.; EHTESHAMUL-HAQUE, S. Suppression of *Meloidogyne javanica* and root-infecting fungi by *Pochonia chlamydosporia* and *Pseudomonas aeruginosa*, in tomato and okra. **Nematologia Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 193–200, 2001.
- SILVA, D. R. et al. *Bacillus subtilis* e sua interação com fitonematoides: mecanismos de biocontrole. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, n. 6, p. 327-345, 2022.
- SILVA, D. R. et al. Estímulo ao crescimento radicular em hortaliças por metabólitos secundários de *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, n. 6, p. 317-330, 2022.
- Singh, J. S. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **Journal of Plant Growth Regulation**, 40(2), 1129-1142, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10294-4>
- Souza, L. M. et al. Uso de microrganismos promotores de crescimento para agricultura sustentável: revisão atualizada. **Journal of Agricultural Microbiology**, 2023.
- ZHANG, F. et al. Synergistic effect of *Bacillus nematocida* B16 and *Pochonia*

chlamydosporia ZK7 in controlling root-knot nematodes. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 3, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8879550/>. Acesso em: 04 abr. 2025.

ZHOU, L. *et al.* Evaluation of bacterial biological control agents for control of root-knot nematode disease on tomato. **Crop Protection**, v. 84, n. 2, p. 8-13, 2016.

ZHU, H. *et al.* Application of *Trichoderma* spp. in sustainable agriculture for controlling plant-parasitic nematodes: current status and future prospects. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1160551.