



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

**DESEMPENHO DE *Trichoderma asperellum* COMO
AGENTE PROMOTOR DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE
ALFACE E SOB CULTIVO HIDROPÔNICO**

JÉSSICA LARISSA GONÇALVES PENTEADO

Araras

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

**DESEMPENHO DE *Trichoderma asperellum* COMO
AGENTE PROMOTOR DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE
ALFACE E SOB CULTIVO HIDROPÔNICO**

JÉSSICA LARISSA GONÇALVES PENTEADO

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CESAR SALA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal e
Bioprocessos Associados como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE EM
PRODUÇÃO VEGETAL E
BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

Araras

2025

Penteado., Jéssica Larissa Gonçalves

Desempenho de *Trichoderma asperellum* como agente promotor de crescimento de mudas de alface e sob cultivo hidropônico / Jéssica Larissa Gonçalves Penteado. -- 2025.
59f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Fernando Cesar Sala
Banca Examinadora: Mariana Nadjara Klein, Márcia Maria Rosa Magri
Bibliografia

1. Cultivo Hidropônico. 2. Mudas de alface. 3. Fungo promotor de crescimento. I. Penteado., Jéssica Larissa Gonçalves. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Jéssica Larissa Gonçalves Penteado, realizada em 29/09/2025.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Profa. Dra. Marcia Maria Rosa Magri (UFSCar)

Prof. Dr. Mariana Nadjara Klein Masetto (Valoriza)

AGRADECIMENTOS

Toda honra e Glória a Deus, que sempre me deu forças, perseverança e saúde para continuar e me ajudou a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do caminho.

Aos meus pais, João Gilberto Couvre Penteado e Maria de Fátima Gonçalves Pereira que sempre foram minha base, que durante todo o percurso acreditaram em mim, me apoiaram e sempre me incentivaram a buscar algo melhor para minha vida.

Ao meu marido Erick Soto Callegaro, por estar ao meu lado em cada batalha e em cada conquista, sempre me incentivando e me encorajando, por diversas vezes reforçar que acreditava no meu potencial e que tudo daria certo.

Aos meus avós paternos, José da Silva Penteado e Ludovina Couvre Penteado e meus avós maternos José Gonçalves Pereira e Maria Dolores Gonçalves Pereira, que infelizmente não estão mais aqui para me ver realizando essa conquista, mas eu sei que onde estiverem estão orgulhosos de mim.

Aos meus queridos amigos Luana Carolina Gomes Jonck, Judieldo de Moraes Lima e Gustavo Roesler que me ajudaram muito durante todo o processo e que sem eles eu não teria conseguido.

Aos integrantes do Grupo de Estudos de Horticultura (GEHORT) e do Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) do que me ajudaram na parte prática.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Cesar Sala, pela confiança e oportunidade da realização desse projeto.

A Professora Sandra Regina Ceccato Antonini, que teve muita paciência comigo e que além de uma excelente professora, foi como uma mãe para mim. Não tenho palavras para agradecer tudo que você fez por mim, por me ouvir, pelos conselhos, por todos os ensinamentos e aprendizados ao longo desses anos.

A todos os professores e colaboradores, que de alguma forma foram responsáveis pelo conhecimento adquirido até aqui.

A Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados, pela oportunidade de realizar este curso.

A CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

Páginas

ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVOS.....	9
Objetivo geral.....	9
Objetivos específicos.....	9
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1 A cultura da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	10
3.2 Cultivo hidropônico.....	12
3.3 Microrganismos promotores de crescimento vegetal.....	14
3.4 <i>Trichoderma</i> spp na promoção de crescimento de plantas.....	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 Isolamento de estirpe <i>Trichoderma asperellum</i> de produtos biológicos comerciais.....	18
4.2 Preparo da suspensão de esporos.....	18
4.3 Área experimental de produção das mudas.....	18
4.4 Aplicação de <i>Trichoderma</i> em mudas de alface.....	19
4.5 Caracterização do sistema de cultivo hidropônico.....	21
4.6 Características avaliadas nas mudas de alfaces em bandeja.....	22
4.7 Características avaliadas das alfaces no cultivo hidropônico.....	22
4.8 Re-isolamento de <i>Trichoderma asperellum</i> da rizosfera e da raiz.....	23
4.8.1 Coleta das amostras.....	23
4.8.2 Re-isolamento da Rizosfera.....	23
4.8.3 Re-isolamento da Raiz.....	23
4.9 Delineamento experimental da inoculação de <i>Trichoderma asperellum</i> na solução nutritiva.....	24
4.11 Análises estatísticas.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Efeito da inoculação de <i>Trichoderma asperellum</i> nas mudas de alface.....	27
5.2 Re-isolamento do <i>T. asperellum</i> da rizosfera e da raiz.....	32
5.3 Comparação entre inoculação em mudas e via solução nutritiva de <i>T. asperellum</i> no cultivo de alface hidropônica.....	34
5.4 Monitoramento do <i>T. asperellum</i> e análise fitopatológica.....	40

6	CONCLUSÕES.....	42
7	LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Descrição dos tratamentos de inoculação com diferentes estirpes de <i>Trichoderma asperellum</i> em plântulas de alface cv. Gabriela	20
Tabela 2. Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Numero de folhas (NF); Peso total (PT); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSPA); Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela aos 14 dias após a primeira inoculação de <i>T. asperellum</i> . T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	28
Tabela 3. Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Numero de folhas (NF); Peso total (PT); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSPA); Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela aos 7 dias após a segunda inoculação de <i>T. asperellum</i> . T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Inoculação de <i>Trichoderma asperellum</i> 7 dias após a emergência das plântulas	20
Figura 2. Alface cv. Gabriela 14 dias após a primeira inoculação com <i>T. asperellum</i> . T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	30
Figura 3. Alface cv. Gabriela 7 dias após a segunda inoculação com <i>T. asperellum</i> . T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	31
Figura 4. Placas de Petri com re-isolamento da rizosfera das mudas de alface cv Gabriela, mostrando a presença do fungo <i>T. asperellum</i> . T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	32
Figura 5. Placas de Petri contendo raízes das mudas de alface cv Gabriela. T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10)	33
Figura 6. Efeitos da aplicação de <i>Trichoderma</i> spp. A: comprimento radicular (CR); B: Peso total (PT); C: Massa fresca da parte aérea (MFPA); D: Massa seca parte aérea (MSPA) e E: Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela após 14 dias de transplântio na hidroponia, submetidas a inoculação via solução nutritiva da hidroponia (Hidroponia) ou mudas em bandeja (Mudas). T1: Controle, T2: <i>T. asperellum</i> (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622), T4 - (BV10): <i>T. asperellum</i> (BV10). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula vias de inoculação, e minúscula entre tratamentos, não	35

diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)
.....

Figura 7. Efeitos da aplicação de *Trichoderma* spp. A: Peso total (PT); B: Massa fresca da parte aérea (MFPA); C: Massa fresca da raiz (MFR), D: Massa seca parte aérea (MSPA) e E: Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela após 23 dias de transplante na hidroponia, submetidas a inoculação via solução nutritiva da hidroponia (Hidroponia) ou mudas em bandeja (Mudas). T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4 - (BV10): *T. asperellum* (BV10). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula vias de inoculação, e minúscula entre tratamentos, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

DESEMPENHO DE *Trichoderma asperellum* COMO AGENTE PROMOTOR DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ALFACE E SOB CULTIVO HIDROPÔNICO

Autor: JÉSSICA LARISSA GONÇALVES PENTEADO

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, e o cultivo hidropônico destaca-se pela eficiência produtiva e qualidade. Microrganismos promotores de crescimento, como *Trichoderma asperellum*, vêm sendo utilizados como alternativa sustentável para estimular o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação de diferentes estirpes de *T. asperellum* (URM 5911, CBMAI 1622 e BV10) no crescimento de mudas de alface (cultivar Gabriela) e no desempenho subsequente em cultivo hidropônico, comparando duas vias de aplicação: em mudas e diretamente na solução nutritiva. Os experimentos foram conduzidos em viveiro e em sistema hidropônico NFT. Na fase de mudas (viveiro), a inoculação foi realizada aos 7 e 25 dias após a emergência, com avaliações de comprimento radicular, parte aérea e biomassa. Em hidroponia, analisaram-se plantas oriundas de mudas previamente inoculadas e plantas tratadas diretamente na solução nutritiva, em diferentes períodos de cultivo. Os resultados demonstraram que os efeitos do fungo foram dependentes da estirpe, da via de aplicação e do tempo de cultivo. Na fase de viveiro, a estirpe URM 5911 destacou-se pelo incremento em peso total e biomassa radicular, conferindo maior vigor às mudas. Em hidroponia, no curto período, as mudas inoculadas apresentaram vantagem em crescimento radicular e biomassa total, enquanto, no final do ciclo, a inoculação via solução nutritiva favoreceu a produção de biomassa aérea e peso total. Ainda assim, a inoculação em mudas manteve desempenho superior para a massa seca das raízes. Conclui-se que ambas as vias apresentam vantagens específicas: a inoculação em mudas favorece o desenvolvimento inicial e o vigor radicular, enquanto a aplicação em solução nutritiva potencializa a produtividade. A escolha da estirpe mostrou-se determinante, com destaque para URM 5911 e BV10, que apresentaram maior consistência nos resultados, enquanto CBMAI 1622 demonstrou efeitos menos expressivos nas condições avaliadas, evidenciando o potencial de *T. asperellum* como bioinsumo promotor de crescimento em sistemas hidropônicos de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., bioestimulante, microrganismo, produtos biológicos.

PERFORMANCE OF *Trichoderma asperellum* AS A GROWTH PROMOTING AGENT FOR LETTUCE SEEDLINGS UNDER HYDROPONIC CULTURE

Author: JÉSSICA LARISSA GONÇALVES PENTEADO

Adviser: Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is the most widely consumed leafy vegetable in Brazil, and hydroponic cultivation stands out for its productive efficiency and quality. Plant growth-promoting microorganisms, such as *Trichoderma asperellum*, have been used as a sustainable alternative to stimulate root development, nutrient absorption, and stress tolerance. This study aimed to evaluate the effect of inoculating different *T. asperellum* strains (URM 5911, CBMAI 1622, and BV10) on the growth of lettuce seedlings (cv. Gabriela) and their subsequent performance under hydroponic cultivation, comparing two application methods: seedling inoculation and direct inoculation in the nutrient solution. The experiments were conducted in a nursery and in a hydroponic NFT system. In the nursery phase, inoculation was carried out at 7 and 25 days after emergence, with assessments of root length, shoot growth, and biomass. In hydroponics, plants derived from previously inoculated seedlings and plants inoculated directly in the nutrient solution were evaluated at different cultivation periods. The results demonstrated that the fungus effects were dependent on the strain, the application method, and the cultivation time. In the nursery phase, strain URM 5911 stood out by increasing total weight and root biomass, conferring greater seedling vigor. In hydroponics, during the early growth period, inoculated seedlings showed advantages in root length and total biomass, whereas at the end of the cycle, inoculation via nutrient solution favored shoot biomass production and total weight. Nevertheless, seedling inoculation maintained superior performance for root dry mass. It can be concluded that both application methods present specific advantages: seedling inoculation favors initial development and root vigor, while inoculation in the nutrient solution enhances aerial biomass and overall productivity. Strain selection proved decisive, with URM 5911 and BV10 showing the most consistent results, while CBMAI 1622 exhibited less expressive effects under the evaluated conditions. These findings highlight the potential of *T. asperellum* as a bioinput for promoting growth in hydroponic lettuce systems.

Key-words: *Lactuca sativa* L.; Biostimulant, microorganism, biological products

1 INTRODUÇÃO

Dentre as hortaliças, a alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo, devido ao ciclo curto, fácil manejo e ampla aceitação pelo consumidor (Domingues *et al.*, 2021; Chaves, 2015). Sua importância econômica está associada não apenas à produção em larga escala, mas também à possibilidade de cultivo em diferentes sistemas, como o convencional e o hidropônico (Azevedo Filho *et al.*, 2011).

A busca por soluções que possibilitem a produção de alface durante todo o ano tem impulsionado o uso de sistemas protegidos, como o cultivo em estufas e a hidroponia. Esse último vem se consolidando como alternativa eficiente, permitindo maior controle sobre fatores ambientais, fornecimento preciso de água e nutrientes, otimização do espaço e redução do uso de defensivos químicos, resultando em hortaliças com melhor aparência e valor nutricional (Patekosky; Pires-Zottarelli, 2010). No entanto, mesmo em condições controladas, as plantas continuam suscetíveis a estresses bióticos e abióticos que podem comprometer a produtividade.

Nesse contexto, microrganismos promotores de crescimento (MPCs) vêm sendo incorporados à agricultura sustentável por seu potencial em otimizar o desenvolvimento vegetal. Entre eles, destaca-se o gênero *Trichoderma*, um fungo amplamente utilizado na agricultura devido às suas propriedades de promoção de crescimento e controle biológico (Wiethan, 2015). Diferentes espécies de *Trichoderma* têm demonstrado a capacidade de estimular o crescimento de hortaliças como a alface, melhorando a absorção de nutrientes e aumentando a biomassa vegetal (Sousa, 2024). Além disso, ele atua na proteção das plantas contra doenças fúngicas ao competir por espaço e nutrientes na rizosfera, além de induzir mecanismos de resistência sistêmica nas plantas (Romagna *et al.*, 2019).

No cultivo hidropônico, a aplicação de *Trichoderma* tem se mostrado promissora para o desenvolvimento da alface, contribuindo para a mitigação do estresse salino e influenciando o pH da solução nutritiva, o que pode impactar diretamente a absorção de nutrientes pelas raízes (Hirst *et al.*, 2024). Esse efeito pode resultar em um maior crescimento das plantas e melhor adaptação a condições adversas, demonstrando o potencial desse fungo para aprimorar a eficiência produtiva na hidroponia.

Pesquisas recentes confirmam que a inoculação de *Trichoderma* spp. no cultivo de alface, melhora a massa fresca, a qualidade das folhas e a resistência a estresses abióticos (Silva, 2021). Esses efeitos positivos tornam esse fungo uma ferramenta promissora para a agricultura sustentável, oferecendo soluções que aliam produtividade, redução de custos e preservação ambiental (Chaves, 2015).

Visto que, a fase de produção de mudas de alta qualidade impacta no sucesso produtivo das hortaliças, uma estratégia que pode ser utilizada para obter mudas de qualidade é associar ao substrato fungos que atuam promovendo o desenvolvimento radicular e absorção de nutrientes do substrato. Estirpes de *Trichoderma* são fungos possíveis de serem utilizados para esta finalidade (Chaves, 2015), atuando na redução do tempo de produção de mudas ao promover a precocidade da germinação de sementes, além de proporcionar a planta resistência aos estresses bióticos e abióticos, resultando no aumento de produtividade (Hajjegrari, 2010). Nesse contexto, a fase de produção de mudas assume papel central para o sucesso do cultivo, já que plantas vigorosas, com sistema radicular bem estruturado, tendem a apresentar maior taxa de sobrevivência e melhor desempenho após o transplante.

Estudos apontam que a adoção de práticas que melhorem a qualidade das mudas, como o uso de insumos biológicos, pode reduzir perdas no campo e antecipar o ciclo produtivo (Lone *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2017; Oliveira; Seabra Júnior, 2012). Entre as alternativas disponíveis, destaca-se a inoculação de *Trichoderma* spp. no substrato, capaz de estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e conferir maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, contribuindo diretamente para a formação de mudas mais resistentes e de melhor qualidade (Souza *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2023). No entanto, é importante considerar que a eficácia do *Trichoderma* pode variar de acordo com fatores como, o isolado utilizado, a sua concentração e a forma de aplicação, bem como a espécie vegetal e o tipo de substrato utilizado (Hajjegrari, 2010).

Apesar dos diversos benefícios já associados ao uso de *Trichoderma* na agricultura, ainda existem poucos estudos que avaliam sua eficácia em sistemas hidropônicos. A dinâmica desse fungo em soluções nutritivas e seu impacto no crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas sem solo permanecem pouco explorados. Diante disso, o presente estudo busca avaliar o impacto do uso de diferentes estirpes de *T. asperellum* no crescimento vegetal de mudas de alface e no

sistema hidropônico, considerando os benefícios agronômicos e sustentáveis dessa prática.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar o efeito da inoculação de *Trichoderma asperellum* como promotor de crescimento de mudas de alface e no cultivo hidropônico subsequente, comparando diferentes formas de aplicação do microrganismo.

Objetivos específicos

- Isolar as estirpes de *T. asperellum* de três produtos biológicos comerciais
- Avaliar se a inoculação de diferentes estirpes de *T. asperellum* em mudas de alface promove alterações no crescimento inicial durante a fase de viveiro
- Avaliar o desempenho produtivo de mudas previamente inoculadas com diferentes estirpes de *T. asperellum* quando transplantadas para o sistema hidropônico.
- Investigar os efeitos da aplicação direta de diferentes estirpes de *T. asperellum* na solução nutritiva da hidroponia sobre o crescimento e a produção de alface.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo, sendo cultivada há mais de 2.500 anos, com origem associada à região do Mediterrâneo. Sua ampla aceitação comercial se deve à diversidade de cultivares, como as do tipo americana, crespa, lisa, mimosa e romana, que apresentam características sensoriais distintas e atendem diferentes nichos de mercado (Matsubara, 2023). A planta possui caule curto, de onde emergem folhas dispostas em roseta, que podem variar em formato e coloração, e um sistema radicular relativamente superficial (Filgueira, 2003).

No cenário brasileiro, a alface ocupa posição de destaque no grupo das hortaliças folhosas, representando 49,9% da área total destinada a esse segmento e 47,3% da produção em toneladas (Vilela; Luengo, 2022). É cultivada principalmente por agricultores familiares, o que lhe confere grande relevância socioeconômica devido à geração de emprego e renda em diferentes elos da cadeia produtiva. Além disso, seu ciclo curto, variando entre 45 e 60 dias, permite colheitas ao longo de todo o ano e proporciona rápido retorno econômico, características que a tornam uma cultura estratégica para pequenos e médios produtores.

A crescente demanda por hortaliças frescas, impulsionada pela busca por alimentação saudável, tem aumentado a pressão por produtividade e fornecimento contínuo ao longo do ano (Targino, 2017). Segundo Leal *et al.* (2016), a alface é uma fonte rica em vitaminas, minerais e antioxidantes, contribuindo para uma dieta saudável e equilibrada. Além disso, estudos têm demonstrado os benefícios do consumo de alface na prevenção de doenças cardiovasculares e no fortalecimento do sistema imunológico (Jesus *et al.*, 2020). Pesquisas apontam também, que consumidores estão mais atentos à qualidade e à segurança dos alimentos, aumentando a demanda por produtos livres de agroquímicos e com certificação (Matsubara, 2023).

Apesar de sua importância, a alface apresenta sensibilidade a condições climáticas adversas, como temperaturas elevadas, excesso de umidade e chuvas intensas. Esses fatores podem afetar o crescimento, a qualidade e a durabilidade pós-colheita, dificultando o alcance do potencial genético da cultivar (Gomes *et al.*, 2005; Venzon; Júnior, 2019). Para mitigar esses problemas, têm sido adotadas estratégias

como o uso de cultivares adaptadas a diferentes épocas de cultivo, a implantação de cultivos protegidos e a adoção de práticas de manejo mais eficientes, incluindo o cultivo hidropônico. Um exemplo de cultivar adaptada a diversas condições é a alface Gabriela, que pertence ao grupo das alfaces crespas. Ela se destaca por suas folhas de coloração roxa intenso brilhante e textura crespa, sendo resistente ao pendoamento precoce e apresentando boa tolerância a variações climáticas, o que a torna adequada para o cultivo em diferentes épocas do ano (Feltrin, 2025).

Durante o processo produtivo de hortaliças, a etapa de produção de mudas é uma das mais importantes. O uso de mudas de alta qualidade, que apresentem vigor e sanidade elevados, boa formação do sistema radicular e melhor capacidade de adaptação no campo, pode resultar em aumento da produtividade e redução dos riscos de produção (Minami, 1995; Nunes & Santos, 2007; Pereira *et al.*, 2010). A produção de mudas de qualidade depende de vários fatores, como uma infraestrutura que ofereça condições ideais de desenvolvimento e proteção contra influências bióticas e climáticas, o uso de sementes de alta qualidade com excelente padrão genético, a escolha de recipientes apropriados e substratos que possuam características físicas, químicas e biológicas adequadas para o crescimento das mudas. (Filgueira, 2008; Nascimento *et al.*, 2016).

O substrato utilizado no cultivo deve proporcionar suporte adequado às plantas, além de ser isento de substâncias tóxicas. É essencial que apresente baixa salinidade e condutividade elétrica reduzida. Também deve conter nutrientes suficientes para favorecer o crescimento inicial das plantas, ter boa capacidade de retenção de água e possuir um efeito tampão que minimize as oscilações abruptas no pH (Ferreira *et al.*, 2014). No entanto, utilizar um único material para compor os substratos não é viável. Por isso, é comum a formulação de substratos mais complexos, que combinam diferentes componentes, como o composto orgânico ou o vermicomposto. Essa abordagem busca garantir as condições adequadas para o crescimento das mudas, equilibrando a qualidade do substrato com a redução dos custos de produção (De Souza Antunes *et al.*, 2019).

A qualidade das mudas pode impactar significativamente o desenvolvimento vegetativo da cultura no campo ou hidroponia, podendo causar problemas tanto no desempenho técnico quanto econômico da plantação (Chaves, 2015). Nesse contexto, a adição de insumos biológicos, como microrganismos benéficos no substrato tem se mostrado uma alternativa promissora para estimular o crescimento

inicial e a resistência das plantas. Estirpes de *Trichoderma* são fungos possíveis de serem utilizados para esta finalidade (Chaves, 2015).

3.2 Cultivo hidropônico

Embora o cultivo convencional em campo aberto ainda predomine, sistemas protegidos, como estufas e técnicas sem uso de solo, como a hidroponia, vêm ganhando espaço. No Brasil, a produção de hidroponia, corresponde a 45% do fornecimento de folhosas e já ocupa uma extensão variável entre 25mil e 30 mil hectares (Anuário Brasil Hidroponia, 2018). Esses métodos permitem maior controle das condições ambientais, reduzindo perdas por pragas e doenças e possibilitando produção contínua ao longo do ano, atendendo à crescente demanda por alimentos frescos e seguros (Henz; Suinaga, 2009; Sala; Costa, 2012).

A necessidade de sistemas de produção mais eficientes, sustentáveis e capazes de fornecer alimentos de qualidade impulsionou o uso da hidroponia. Essa técnica vem se consolidando como alternativa ao cultivo convencional, especialmente para hortaliças como a alface, devido às suas vantagens produtivas e de manejo.

A hidroponia é um sistema de cultivo sem solo, no qual as plantas recebem água, nutrientes e oxigênio por meio de uma solução nutritiva balanceada para cada fase de crescimento. A sustentação e a oxigenação variam conforme o sistema, que pode ser classificado pelo número de fases ou pelo modo de operação (aberto ou fechado). Embora seja uma prática relativamente recente, tem se consolidado como alternativa capaz de atender à crescente demanda por alimentos de qualidade, oferecendo vantagens como precocidade, uniformidade, maior controle fitossanitário, menor consumo de insumos e tolerância a condições adversas, ainda que demande maior domínio técnico e investimento inicial (Martinez, 2021; Lemos Neto *et al.*, 2020).

Dentre as técnicas hidropônicas, a mais utilizada é a de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT), na qual a solução circula continuamente em canais levemente inclinados, mantendo parte das raízes em contato direto com o fluxo. Por ser um sistema fechado, o excedente retorna ao reservatório, permitindo reaproveitamento da solução. Os canais, geralmente confeccionados em PVC, devem ter dimensões adequadas à espécie cultivada, garantindo o pleno desenvolvimento das plantas (Bezerra Neto; Barreto, 2012; Bliska Júnior *et al.*, 2004).

No cultivo hidropônico, o manejo nutricional é realizado por meio da solução nutritiva, a qual deve conter todos os macronutrientes e micronutrientes minerais indispensáveis, dissolvidos em água em quantidades e proporções adequadas às exigências da cultivar, além de apresentar pH compatível com seu desenvolvimento (Bezerra Neto; Barreto, 2012).

Embora apresente menor absorção total de nutrientes em comparação a outras espécies, a alface é considerada uma hortaliça de alta demanda nutricional. Seu pico de consumo ocorre na fase final do ciclo produtivo, período em que a formação de matéria seca se intensifica, especialmente no terço final do desenvolvimento (Sanchez, 2007).

A utilização de microrganismos promotores de crescimento tem se mostrado uma alternativa promissora para o aumento da produtividade e qualidade das hortaliças, sendo objeto de diversos estudos que têm demonstrado resultados positivos em diferentes culturas (Amorim *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2018). Nesse contexto, o *Trichoderma* spp. surge como alternativa promissora para a produção de alface. Além de seu papel no biocontrole de doenças, relatado em ensaios com a cultura, o fungo tem demonstrado efeitos de bioestimulação, favorecendo o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e o acúmulo de biomassa. Silva *et al.* (2021) verificaram que a inoculação de *T. asperellum* em alface hidropônica aumentou a massa fresca da parte aérea e a produtividade, evidenciando o potencial do fungo como insumo agrícola sustentável. De forma semelhante, em condições de campo aberto, Pereira *et al.* (2019) observaram que a inoculação com diferentes estirpes de *Trichoderma* resultou em incremento expressivo na produtividade da alface, atingindo rendimentos próximos de 50 t ha⁻¹, em contraste com os 30 t ha⁻¹ obtidos na controle sem inoculação.

Apesar dos resultados promissores, ainda há variação nos efeitos do *T. asperellum* em ambientes hidropônicos. A disponibilidade contínua de nutrientes e a ausência de matéria orgânica alteram as interações entre raízes e microrganismos, podendo influenciar a eficácia do fungo. Dessa forma, são necessárias mais investigações para avaliar a consistência e a magnitude dos efeitos bioestimulantes em diferentes culturas e sistemas de cultivo (Saldinger *et al.*, 2023).

3.3 Microrganismos promotores de crescimento vegetal

A busca por tecnologias eficazes, sustentáveis e de baixo custo para o cultivo de alface tem estimulado o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCV) como alternativa para reduzir o uso de fertilizantes químicos, mantendo ou ampliando a produtividade (Barbosa *et al.*, 2018). A inoculação desses microrganismos, isolados ou em consórcios, já demonstrou benefícios na melhora da sanidade e aumento da produção de mudas de hortaliças (Ahmad *et al.*, 2018).

O mercado global de insumos biológicos, impulsionado por essa demanda, apresenta crescimento anual de 15% a 17% (MARKETS AND MARKETS, 2020). No Brasil, o setor avançou 28%, movimentando mais de R\$ 1 bilhão, com 95 novos defensivos de baixo risco registrados em 2020 — um aumento de 121% em relação a 2019, incluindo microrganismos, extratos vegetais, bioquímicos e reguladores de crescimento (MAPA, 2021).

A rizosfera, zona de interação entre raízes, solo e organismos, abriga grande diversidade microbiana, incluindo vírus, bactérias, protozoários e fungos, que podem ser benéficos, prejudiciais ou neutros para as plantas (Okon *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2003). Entre os benéficos, destacam-se rizobactérias e fungos capazes de produzir substâncias que estimulam raízes, solubilizam nutrientes e protegem contra patógenos (Barros *et al.*, 2019; Duan *et al.*, 2019). Essas interações favorecem a absorção de nutrientes e o equilíbrio ecológico, reduzindo a necessidade de adubação frequente (Backer *et al.*, 2018; Saad *et al.*, 2020).

Os MPCV, geralmente atraídos pelos exsudatos radiculares, podem habitar a superfície ou o interior dos tecidos vegetais (Odoh, 2017). Suas estratégias de ação incluem mecanismos diretos, como a produção de fitormônios, e indiretos, como a solubilização de minerais, a fixação biológica de nitrogênio por bactérias diazotróficas (Gopalakrishnan *et al.*, 2017; Suarez *et al.*, 2014) e a simbiose com fungos micorrízicos para melhorar a absorção de nutrientes (Symanczik *et al.*, 2017). Além disso, contribuem para o controle de patógenos e outros organismos nocivos (Pereg; Mcmillan, 2014). A aplicação de MPCV como biofertilizantes é estudada em diversas culturas agrícolas, pois aumenta a disponibilidade de nutrientes essenciais e favorece o desenvolvimento vegetal. Um exemplo é a fixação biológica de nitrogênio, amplamente utilizada para suprir esse elemento (Gelfand; Robertson, 2015). Esses microrganismos também competem por espaço e nutrientes, colonizando

rapidamente a rizosfera ou a filosfera e dificultando o estabelecimento de patógenos (Pahari; Mishra, 2017).

Diante de seus benefícios, os MPCV surgem como alternativa para reduzir o uso de defensivos químicos, mitigando impactos negativos sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas. Diversos estudos mostram seu potencial em hortaliças, com ganhos em produtividade e qualidade (Amorim *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2018). Em tomate, a aplicação de fungos promotores de crescimento aumentou peso, diâmetro dos frutos e teor de licopeno. Em rúcula, esses microrganismos promoveram maior crescimento radicular, acúmulo de compostos bioativos, redução de folhas amareladas e maior resistência a doenças (Silva *et al.*, 2020).

Embora diversos estudos demonstrem a importância do *Trichoderma* em solos agrícolas, seja em sistema convencional ou em vasos, ainda são escassas pesquisas que avaliem sua aplicação em sistemas hidropônicos. A introdução de microrganismos promotores do crescimento de plantas na hidroponia pode trazer benefícios como a melhoria da saúde vegetal, o aumento da produtividade e a criação de um ambiente de cultivo mais resiliente Mourouzidou *et al.* (2023)

No entanto, para que esses benefícios sejam alcançados, é fundamental garantir um equilíbrio adequado da microbiota presente no sistema. Dessa forma, torna-se essencial testar diferentes microrganismos em ambientes hidropônicos altamente controlados, além de investigar seus efeitos sob condições de estresse abiótico. Com isso, será possível aprofundar o conhecimento sobre as interações entre plantas e microrganismos nesses sistemas e avaliar o potencial de integração dos MPCV em cultivos hidropônicos comerciais.

3.4 *Trichoderma* spp na promoção de crescimento de plantas

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos amplamente encontrados tanto no solo quanto na rizosfera (Shi *et al.*, 2016). As espécies desse gênero se destacam por atuarem como agentes de controle biológico contra fitopatógenos e por apresentarem potencial para estimular o desenvolvimento das plantas (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016; Silva, 2022). Fungos desse grupo são considerados microrganismos de grande relevância para a promoção do crescimento vegetal, pois influenciam positivamente diferentes estágios do ciclo produtivo, incluindo germinação de sementes, crescimento e produtividade final das culturas.

Esses efeitos benéficos estão relacionados à síntese de metabólitos que promovem o crescimento e à melhoria da nutrição vegetal, principalmente pela solubilização de fósforo (Oliveira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012) e pela produção de ácido indolacético (Bettioli *et al.*, 2019; Chagas *et al.*, 2016).

Além de sua relevância para o crescimento vegetal, o *Trichoderma* tem importância econômica significativa para a agricultura, não apenas por suas propriedades promotoras de crescimento, mas também por sua atuação no controle de doenças em diversas culturas e por funcionar como indutor de resistência a patógenos (Silva *et al.*, 2012). Essa versatilidade faz com que esses fungos sejam aliados estratégicos no manejo sustentável e eficiente das lavouras.

Diversas espécies, como *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. virens* e *T. atroviride*, têm apresentado resultados positivos em campo, no rendimento e qualidade de hortaliças, incluindo a alface, com aumento de peso fresco e seco, área e comprimento radicular, teores de clorofila e eficiência no uso da água, além de redução do acúmulo de nitrato (Caruso *et al.*, 2020; Roupael *et al.*, 2020; Saia *et al.*, 2019).

De acordo com Shores *et al.* (2010), a aplicação de *T. harzianum* em cultivos de alface promoveu um aumento expressivo no crescimento das plantas, refletido tanto na altura quanto no peso fresco e seco das folhas. Além do efeito estimulante no desenvolvimento vegetal, observou-se também a diminuição da ocorrência de doenças foliares nas plantas tratadas, efeito este relatado igualmente por Meng, Wang e Cheng (2017).

Entre as espécies, *T. asperellum* tem despertado interesse científico devido ao seu potencial como agente bioestimulante (Abdullah *et al.* 2021). Esse microrganismo estabelece interações benéficas com o sistema radicular, favorecendo o crescimento vegetal e aumentando a capacidade de exploração do substrato (Asghar *et al.* 2024). Além disso, é capaz de produzir compostos bioativos que estimulam a divisão celular e induzem a síntese de fitohormônios essenciais ao desenvolvimento das plantas (Kubiak *et al.* 2023). Outro efeito relevante é a melhoria na disponibilidade de nutrientes, como fósforo e ferro, por meio de processos de solubilização no ambiente de cultivo (Nahidan *et al.* 2023). Apesar desses resultados positivos, a maior parte das pesquisas envolvendo *T. asperellum* foi realizada em sistemas agrícolas convencionais baseados em solo, havendo ainda lacunas quanto ao seu desempenho em condições hidropônicas.

Pesquisas indicam que as estirpes *T. asperellum* NST-099 e CB-Pin-01, quando utilizadas em cultivos hidropônicos, apresentam efeito duplo: inibição de patógenos como *Cercospora lactucae-sativae* e *Pythium aphanidermatum*, além da promoção do crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) em parâmetros como altura, número de folhas e biomassa (Promwee *et al.* 2022). Da mesma forma, as estirpes TaMFP1 e TaMFP2 demonstraram efeitos positivos sobre altura da planta, comprimento de raízes, biomassa e número de folhas, sem comprometer a qualidade visual do produto final (Gutiérrez-Chávez *et al.* 2025).

No entanto, a variabilidade das interações microbianas em sistemas hidropônicos evidencia a necessidade de estudos adicionais que avaliem a consistência e a reprodutibilidade dos efeitos bioestimulantes de *T. asperellum* em diferentes espécies vegetais e condições de cultivo, uma vez que, a ausência de matéria orgânica e o fornecimento contínuo de nutrientes podem modificar as interações planta-microrganismo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Isolamento de estirpe *Trichoderma asperellum* de produtos biológicos comerciais

O experimento foi realizado no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar, Araras, SP.

Foram utilizadas três diferentes estirpes de *Trichoderma asperellum* obtidas a partir de diferentes produtos comerciais, sendo eles Quality® - URM5911 (empresa Lallemand), Congregga® - CBMAI 1622 (empresa Gênica) e Tricho-turbo® - BV10 (empresa Vittia).

Para o isolamento, 1 g do material foi suspenso em 9 mL de solução salina estéril (0,85% NaCl) com Tween 80 a 0,1% e submetido à agitação em vortex por dois minutos. Posteriormente, foram feitas diluições seriadas 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} e alíquotas de 100 μ L dessas suspensões foram plaqueadas em placas de Petri contendo meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA) suplementado com antibiótico (cloranfenicol 0,3 g/L) e incubadas a 25 °C por sete dias.

4.2 Preparo da suspensão de esporos

Após o crescimento das estirpes isoladas, foi realizada a produção de conídios em placas de Petri contendo meio BDA. As placas foram incubadas a 25°C por sete dias, período no qual houve crescimento fúngico e esporulação. Os conídios foram coletados adicionando-se 10 mL de solução salina estéril (0,85% NaCl) com Tween 80 a 0,1% sobre a superfície do meio, seguida de raspagem com alça de Drigalski e posteriormente colocada em um tubo falcon. A suspensão foi homogeneizada em Vortex e posteriormente a concentração foi ajustada para 10^7 conídios mL^{-1} utilizando câmara de Neubauer em microscópio óptico para contagem de esporos.

4.3 Área experimental de produção das mudas

As mudas de alface foram produzidas em viveiro comercial (IBS Mudas), no município de Piracicaba - SP (22°36'36.4"S, 47°35'36.3"W, 547 m de altitude), no período de janeiro a fevereiro de 2025. A semeadura foi realizada em bandejas de 128 células com volume de 27 cm^3 célula⁻¹, preenchidas com turfa à base de *Sphagnum* (Pindstrup®), composta por 85% de turfa e 15% de fibra de madeira. Após a semeadura as sementes foram cobertas com uma fina camada de vermiculita. Para a

semeadura que ocorreu no dia 28 de janeiro, foram utilizadas sementes peletizadas de alface crespa roxa cv. Gabriela (Feltrin®), adaptada as condições tropicais, onde cada célula das bandejas recebeu uma única semente.

Depois da semeadura, as bandejas foram mantidas em sala de germinação em ambiente controlado sob temperatura de 25°C e umidade relativa de 80% por um período de dois dias. Logo após, as bandejas foram alocadas em estufa agrícola para o desenvolvimento das mudas, com estrutura tipo arco, tendo 100 m de comprimento, 10 m de largura e 4 m de pé direito. A altura da bancada para a colocação das bandejas foi de 0,50 m. As paredes laterais e frontais foram de tela antiáfideo, com cobertura de plástico de polietileno com 150 µm e piso de concreto. A irrigação e fertirrigação foi por aspersão em sistema de barras móveis. As mudas foram mantidas em ambiente protegido, com estufa climatizada por sistema de resfriamento evaporativo, para controle da temperatura e umidade relativa do ar no interior, programado para manter o ambiente abaixo de 36°C e 60% de umidade relativa.

Após 23 dias, as mudas foram levadas para a casa de vegetação do GEHORT (Grupo de Estudo de Horticultura) do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras/SP. As coordenadas geográficas do município são de 630 m de altitude, latitude 22°21'25" Sul e longitude 47°23'03" Oeste. A região se enquadra no clima tipo Cwa, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos. A temperatura média e a precipitação pluvial média anual são de 21,4°C e 1.428 mm, respectivamente.

4.4 Aplicação de *Trichoderma* em mudas de alface

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e três repetições. Cada repetição foi composta por um conjunto de plântulas organizadas em bandejas contendo 128 células, sendo que cada bandeja continha três tratamentos distintos. Dentro de cada bandeja, os tratamentos foram alocados de forma casualizada e cada um deles foi composto por 24 plântulas de alface. As células localizadas nas laterais, bem como as das fileiras superior e inferior, foram utilizadas como bordadura e não consideradas nas avaliações. O experimento contou com um total de quatro bandejas, garantindo que todas as repetições e tratamentos estivessem distribuídos de maneira aleatória entre elas.

A inoculação das estirpes do fungo *T. asperellum* foi realizada individualmente nas plântulas, aplicando-se 1 mL da suspensão contendo $2,5 \times 10^7$ conídios mL^{-1} com auxílio de uma seringa estéril. As aplicações foram feitas aos 7 e 25 dias após a emergência das plântulas, conforme descrito na Tabela 1. No tratamento controle (sem inoculação), foi aplicada a mesma quantidade de solução salina estéril (NaCl 0,85%) para manter as mesmas condições de umidade e manuseio. A primeira inoculação foi realizada em plântulas de alface sete dias após a emergência e vinte e um DAE ocorreu a primeira avaliação.

Figura 1. Inoculação de *Trichoderma asperellum* 7 dias após a emergência das plântulas.



A segunda inoculação, foi realizada 25 dias após a emergência das plântulas conforme mostrado na Tabela 1. A avaliação das mudas, após a segunda aplicação do *T. asperellum*, ocorreu 32 DAE.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos de inoculação com diferentes estirpes de *Trichoderma asperellum* em plântulas de alface cv. Gabriela.

TRATAMENTO	INOCULAÇÃO 7 DAE	INOCULAÇÃO 25 DAE
1 – Controle	Não inoculado	Não inoculado
2 – <i>T. asperellum</i> (URM 5911)	Inoculado	Inoculado
3 – <i>T. asperellum</i> (CBMAI 1622)	Inoculado	Inoculado
4 – <i>T. asperellum</i> (BV10)	Inoculado	Inoculado

*DAE – dias após a emergência das plantas

4.5 Caracterização do sistema de cultivo hidropônico

Paralelamente à avaliação das mudas em bandeja, aquelas que receberam duas inoculações (T2, T3 e T4) foram transplantadas para o cultivo hidropônico, sendo avaliadas aos 14 e 23 dias após o transplante. O tratamento (T1), utilizado como controle, não recebeu inoculação.

O delineamento na hidroponia foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e três repetições. Cada tratamento foi alocado em uma caixa d'água, de modo a evitar contaminação entre os tratamentos e possibilitar a avaliação individual de cada estirpe de *Trichoderma* no sistema hidropônico.

As mudas foram transplantadas para bancadas hidropônicas no dia 25 de fevereiro de 2025. O cultivo se deu em NFT (fluxo laminar de nutrientes), no sistema HPM (hidroponia perfil móvel) da Hidrogood®, em ambiente protegido.

A estufa possui pé direito de 3,5 m, 15 m de comprimento e 7 m de largura, coberta com plástico difusor e laterais fechadas com malha de sombreamento ChromatiNet® Leno vermelha 20%. Os perfis de cultivo, de polietileno, possuem 61 mm de largura e 40 mm de altura. O arranjo estrutural foi composto por quatro motobombas Dancor® modelo Pratika CP-4R, 0,5 cv, e quatro reservatórios, sendo dois com capacidade de 500 L e dois com capacidade de 1000 L. Cada reservatório alimentou um tratamento experimental.

A solução nutritiva utilizada foi a de alface proposta por Furlani *et al.* (1999): 100 g 1000 L⁻¹ de MAP (fosfato monoamônico, N: 11% + P₂O₅: 60%, marca Ominia®); 500 g 1000 L⁻¹ de nitrato de cálcio (N: 15,5% + Ca: 19%, marca YaraLiva®); 500 g 1000 L⁻¹ de nitrato de potássio (N: 12% + K₂O: 45%, S: 1,2%, marca DripSol®); 350 g 1000 L⁻¹ de sulfato de magnésio (Mg: 9% + S: 11,9%, marca Heringer®); 20 g 1000 L⁻¹ de coquetel de micronutrientes (B: 1,82% - Cu EDTA: 1,82% - Fe EDTA: 7,26% - Mn EDTA: 1,82% - Mo:0,3%, Ni: 0,335% - Zn EDTA: 0,73%, marca Conplant®). Para favorecer enraizamento, no início dos experimentos foi adicionado à solução de cultivo o fertilizante Rootex® (N: 7% + P₂O₅: 47% + K₂O: 6%, solúveis em água, marca Cosmocel®) na dose 30 g 1000 L⁻¹.

Durante os experimentos foram realizadas medições diárias da condutividade elétrica da solução de cultivo, a qual foi mantida entre 1.500 e 1.800 µS cm⁻¹, por vezes sendo necessário adição de água, e de pH, mantido entre 5,5 e 7,5 com limite máximo de 7,5, sendo adicionado ácido fosfórico (P₂O₅: 52%, marca Plenar®) para diminuição do pH quando necessário. Durante o período das 06:00 às 19:15, o

esquema de circulação da solução nutritiva foi alternado em intervalos de 15 min, isto é, 15 min ligado e 15 min desligado. Já no período noturno, houve circulação de solução de 30 min as 22:30h e as 03:00h.

4.6 Características avaliadas nas mudas de alfaces em bandeja

As seguintes variáveis foram avaliadas: comprimento de parte (CPA), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), peso total (PT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR).

O comprimento da parte aérea foi determinado utilizando-se régua graduada, medindo a distância do colo da planta até o ápice da planta. Para a determinação do comprimento de raiz, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente para remover resíduos do substrato e, em seguida, medidas com o auxílio de uma régua graduada, desde o colo até o ápice da raiz (Medeiros *et al.*, 2008).

As folhas foram separadas do sistema radicular e posteriormente, foi determinada a massa fresca através da pesagem em balança digital de precisão (0,01g) e os dados foram expressos em gramas (Oliveira, 2011). De forma similar a massa fresca da raiz foi determinada por meio da pesagem em balança de precisão após a lavagem em água corrente para a retirada do substrato aderido (Martins, 2018).

Para a determinação da massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, foi realizada a separação da parte aérea da planta de sua raiz e alocadas em sacos de papel e em seguida acondicionadas em estufa à 60°C de temperatura por 72 horas, até atingirem peso constante (Blat *et al.*, 2011). O número de folhas foi obtido através da contagem do número de folhas presente em cada muda (Chaves, 2015).

4.7 Características avaliadas das alfaces no cultivo hidropônico

As seguintes variáveis foram avaliadas, conforme o item anterior: comprimento de parte (CPA), comprimento de raiz (CR), número de folhas (NF), peso total (PT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR).

4.8 Re-isolamento de *Trichoderma asperellum* da rizosfera e da raiz.

O re-isolamento de *T. asperellum* foi realizado em dois locais distintos: rizosfera (substrato aderido às raízes das mudas) e raiz (interior e superfície radicular). O objetivo foi verificar a presença e a persistência do fungo após a inoculação.

4.8.1 Coleta das amostras

Após 14 dias da primeira inoculação, as mudas de alface foram cuidadosamente removidas das bandejas de cultivo, mantendo-se a integridade do sistema radicular. O excesso de substrato foi removido manualmente para facilitar a separação entre a rizosfera e a raiz.

Para a rizosfera, o substrato aderido às raízes (aproximadamente 10 g por planta) foi coletado utilizando espátula estéril e acondicionado em tubos Falcon estéreis. Para as raízes, foram cortadas em segmentos de aproximadamente 2 cm de comprimento, coletando-se tanto a porção próxima ao colo quanto a região apical.

4.8.2 Re-isolamento da Rizosfera

Para avaliar a presença de *T. asperellum* no substrato rizosférico, foi realizada a técnica de diluição em série e plaqueamento em meio BDA. Em Erlenmeyer estéril de 500 mL foram colocados 10g de substrato rizosférico suspenso em 90 mL de solução salina estéril (NaCl 0,85%). A mistura foi agitada em mesa agitadora Shaker a 150 rpm por 20 minutos para liberar os microrganismos do substrato.

Foram realizadas diluições seriadas (10^{-1} a 10^{-4}) e de cada diluição, 100 μ L foram espalhados em três placas de Petri contendo BDA e suplementado com cloranfenicol (100 mg L^{-1}) para inibição de bactérias. As placas foram incubadas em estufa tipo BOD a 25 °C por 5 dias com fotoperíodo de 12 horas. Após o período de incubação, as colônias características de *Trichoderma* (crescimento verde ou amarelo, com bordas brancas) foram contadas e identificadas morfológicamente, sendo a análise dos dados qualitativa.

4.8.3 Re-isolamento da Raiz

Para o re-isolamento a partir das raízes, foi realizada a desinfestação superficial para eliminar contaminantes externos, seguida do plaqueamento direto. Os fragmentos radiculares foram lavados em água corrente para remover o substrato residual. Posteriormente foram submetidas ao processo de desinfestação superficial,

com imersão em etanol 70% por 30 segundos, imersão em hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto e novamente imersão em etanol 70% por 30 segundos, seguido de enxágue em água destilada estéril por três vezes consecutivas.

Após a desinfestação, os fragmentos de raiz foram secos em papel filtro estéril e depositados em placas de Petri contendo meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar) suplementado com cloranfenicol (100 mg L^{-1}) para inibição de bactérias.

As placas foram incubadas em estufa tipo BOD a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ por cinco a sete dias. Após a incubação, as colônias com características morfológicas compatíveis com *Trichoderma* foram isoladas e purificadas em novas placas para confirmação, sendo a análise dos dados qualitativa.

4.9 Delineamento experimental da inoculação de *Trichoderma asperellum* na solução nutritiva

Nesta etapa, a produção de mudas seguiu o procedimento descrito no item 4.3. O cultivo foi conduzido em sistema NFT (Fluxo Laminar de Nutrientes), utilizando a estrutura HPM (Hidroponia Perfil Móvel) da Hidrogood®, em ambiente protegido, conforme caracterização apresentada no item 4.5. Diferentemente do experimento anterior, não houve inoculação de *Trichoderma* no substrato das mudas. Nesse caso, o fungo foi adicionado diretamente aos reservatórios do sistema hidropônico, juntamente com a solução nutritiva.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram em três estirpes de *T. asperellum*, aplicadas individualmente em inoculação única em cada reservatório, além de um tratamento controle sem inoculação. A aplicação foi realizada adicionando-se 100 mL de suspensão contendo $1,9 \times 10^8$ conídios mL^{-1} da estirpe correspondente em cada caixa d'água do sistema.

4.10 Monitoramento do *Trichoderma asperellum* e análise fitopatológica

O monitoramento da presença de *Trichoderma* spp. na solução nutritiva foi realizado semanalmente durante o período experimental. Para tanto, amostras foram coletadas de cada caixa d'água com o auxílio de pipetas de Pasteur, sendo acondicionadas em tubos Falcon estéreis. Posteriormente, no laboratório, procedeu-se ao plaqueamento por meio da utilização de uma alíquota de 100 μL de cada amostra, distribuída em triplicata em placas de Petri contendo meio de cultura BDA

(Batata-Dextrose-Ágar). As placas foram incubadas em estufa tipo BOD a 25 °C, sob fotoperíodo de 12 h, durante cinco dias. Após o período de incubação, foi realizada avaliação qualitativa, a fim de verificar a presença ou ausência de colônias de *Trichoderma* spp. na solução nutritiva.

Ao final do experimento, três plantas de alface de cada tratamento foram encaminhadas para análise fitopatológica na Clínica Fitopatológica “Prof. Hiroshi Kimati”, vinculada ao Departamento de Fitopatologia e Nematologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Nessas amostras, foram realizadas observações sintomatológicas, além de análises microscópicas e culturais, que permitiram a identificação dos agentes associados.

4.11 Análises estatísticas

Para o experimento quanto à aplicação de *T. asperellum* em mudas de alface, descrito no item 4.4, o ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições. Os dados obtidos pelas avaliações foram inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA) à 5% de significância e, constatadas diferenças significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto aos ensaios em cultivo hidropônico com mudas inoculadas e inoculação via solução nutritiva, itens 4.5 e 4.9, respectivamente, estes foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso com quatro tratamentos e três repetições. Dessa maneira, os dados foram submetidos à ANOVA e as médias dos tratamentos comparadas entre si pelo teste de Tukey. Ademais, visando a comparação entre as vias de inoculação de *T. asperellum*, os dados oriundos dos experimentos descritos em 4.5 e 4.7, isto é, com alface em sistema hidropônico inoculado com *T. asperellum* em mudas e solução nutritiva, respectivamente, foram avaliados como um experimento em blocos em esquema fatorial 4 x 2, sendo o primeiro fator relativo aos tratamentos com as estirpes de *T. asperellum* (T2 – (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622) e T4 - (BV10)) e o controle (T1), e o segundo fator caracterizado pelas vias de inoculação de *T. asperellum* (via mudas ou solução nutritiva). Dessa maneira, para as variáveis em que a interação entre os fatores foi significativa, prosseguiu-se com o desdobramento da interação e aplicação do teste de Tukey a 5% para comparação dos tratamentos e ambientes.

Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* R (R CODE TEAM, 2025) e as pressuposições de normalidade, homogeneidade de variâncias e princípio de blocagem, para os ensaios conduzidos em delineamento em bloco, foram verificadas pelas aplicações dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e não-aditividade de Tukey, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito da inoculação de *Trichoderma asperellum* nas mudas de alface

Não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para as variáveis comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, número de folhas, massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea aos 14 dias após a primeira inoculação (Tabela 2). Esses resultados indicam que, no período observado, não foi possível detectar alterações morfológicas nas plântulas decorrentes da inoculação com *T. asperellum*.

No entanto, o peso total, a massa fresca da raiz e a massa seca da raiz apresentaram valores significativamente superior no tratamento 2 (URM 5911) em relação ao controle (T1) e aos demais tratamentos com inoculação. O incremento em massa fresca de raiz foi de aproximadamente 51% em relação ao controle, sugerindo que a inoculação favoreceu a alocação de biomassa para o sistema radicular. Resultados semelhantes foram descritos por Promwee *et al.* (2022), que observaram aumento de até 39% na biomassa radicular e 25% na biomassa aérea em alface hidropônica inoculada com *T. asperellum*, reforçando que o fungo tende a estimular primeiramente o desenvolvimento subterrâneo. Esse comportamento é consistente com estudos recentes que relatam que estirpes de *Trichoderma* promovem maior crescimento radicular em mudas de hortaliças, mesmo quando os efeitos na parte aérea não são imediatamente perceptíveis (Caruso *et al.*, 2020; Roupheal *et al.*, 2020; Oljira *et al.*, 2020). Os efeitos positivos tendem a ocorrer primeiramente no sistema radicular, refletindo a capacidade de *Trichoderma* colonizar a rizosfera e produzir metabólitos bioativos, como auxinas, sideróforos e enzimas hidrolíticas, que estimulam a emissão e o alongamento das raízes (Serrano-Gómez *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2023).

Assim, embora o crescimento da parte aérea não tenha apresentado alterações imediatas, o incremento da biomassa radicular em T2 - (URM 5911) indica um melhor preparo das mudas para a fase pós-transplante. Apesar dos ganhos obtidos nesse tratamento, os isolados T3 - (CBMAI 1622) e T4 - (BV10), também de *T. asperellum*, não diferiram estatisticamente do controle. Esse resultado evidencia que os efeitos de *Trichoderma* não são uniformes entre estirpes, mas sim específicos de cada isolado. A literatura confirma que a resposta das plantas ao fungo varia conforme a estirpe

aplicada, a espécie cultivada e as condições de cultivo (Contreras-Cornejo *et al.*, 2009; Mukherjee *et al.*, 2021).

Tabela 2. Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Numero de folhas (NF); Peso total (PT); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSPA); Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela avaliadas 14 dias após a primeira inoculação de *Trichoderma asperellum* (21 dias após a emergência – DAE). As inoculações foram realizadas aos 7 e/ou 25 DAE. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3 - *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).

Tratamentos	CPA	CR	NF	PT (g)	MFPA (g)	MFR (g)	MSPA (g)	MSR (g)
Controle	8,95 a	9,21 a	5,25 a	2,01 b	1,57 a	0,49 b	0,08 a	0,02 b
(URM 5911)	8,84 a	8,62 a	5,50 a	2,71 a	1,70 a	0,74 a	0,08 a	0,05 a
(CBMAI 1622)	9,04 a	8,83 a	5,33 a	2,05 b	1,64 a	0,46 b	0,07 a	0,03 b
(BV10)	9,11 a	9,53 a	5,50 a	2,00 b	1,60 a	0,43 b	0,07 a	0,02 b
CV (%)	4,15	8,32	4,23	10,20	5,66	12,95	5,81	22,58

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

No caso do presente estudo, é possível que apenas a estirpe utilizada em T2 – (URM 5911) tenha apresentado maior capacidade de colonizar a rizosfera e produzir metabólitos bioativos capazes de estimular o crescimento radicular. Trabalhos como o de Pereira *et al.* (2019), em campo aberto com alface, também observaram diferenças expressivas entre isolados de *Trichoderma*, sendo que algumas estirpes aumentaram significativamente a produtividade (50,2 t ha⁻¹) enquanto outras não diferiram do controle. Esses achados reforçam que a seleção da estirpe é determinante para o sucesso da aplicação em diferente culturas e sistemas de cultivo. Assim, a busca por informações que expliquem essas interações entre cultivo e microrganismo aplicado, auxiliam na tomada de decisão para compor sistemas produtivos mais eficientes, nos quais o pleno entendimento do seu funcionamento pode ser convertido em economias de insumos, acréscimos produtivos e maior rentabilidade.

Após a segunda aplicação de *T. asperellum* (Tabela 3), observaram-se diferenças significativas em variáveis associadas tanto ao sistema radicular quanto à parte aérea. Os tratamentos T2 – (URM 5911) e T4 - (BV10) apresentaram maior comprimento de raiz, peso total, massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz em comparação à controle (T1). O comprimento radicular foi 52,7% superior em T2 - (URM 5911) e 37,6% em T4 - (BV10), enquanto o peso total apresentou incrementos de 38% e 36,5%, respectivamente. Para a massa fresca da raiz, os aumentos foram de 80,2% T2 - (URM 5911) e 69,7% (T4 - (BV10), e para a massa fresca da parte aérea os ganhos alcançaram 30,6% T2 - (URM 5911) e 29,7% (T4 - (BV10) em relação ao controle. Esses resultados reforçam que, embora ambos os tratamentos tenham recebido *T. asperellum*, os efeitos variam conforme a estirpe, evidenciando que a promoção de crescimento não é universal, mas depende do isolado empregado. Trabalhos anteriores também destacam que isolados distintos de *Trichoderma* apresentam diferentes capacidades de estimular crescimento vegetal e produtividade, relacionadas a fatores metabólicos e à eficiência de colonização radicular (Gutiérrez-Chávez *et al.*, 2025; Pereira *et al.*, 2019).

Tabela 3. Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Numero de folhas (NF); Peso total (PT); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSPA); Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela avaliadas 7 dias após a segunda inoculação de *Trichoderma asperellum* (32 dias após a emergência – DAE). As inoculações foram realizadas aos 7 e/ou 25 DAE. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3 - (CBMAI 1622): *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).

Tratamentos	CPA	CR	NF	PT (g)	MFPA (g)	MFR (g)	MSPA (g)	MSR (g)
Controle	13,35 a	8,60 b	9,00 a	6,18 b	5,23 b	0,96 c	0,35 a	0,05 a
(URM 5911)	14,08 a	13,13 a	10,25 a	8,53 a	6,83 a	1,73 a	0,44 a	0,06 a
(CBMAI 1622)	13,63 a	9,45 ab	9,00 a	6,61 b	5,34 b	1,28 bc	0,36 a	0,05 a
(BV10)	13,75 a	11,83 ab	10,25 a	8,44 a	6,79 a	1,63 ab	0,43 a	0,06 a
CV (%)	5,29	16,85	0	11,08	11,32	13,17	12,56	23,84

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para a massa fresca da parte aérea, as estirpes T2 – (URM5911) e T4 - (BV10) apresentaram desempenho superior, com incrementos próximos de 30% em relação à controle. Esses resultados sugerem que a re-inoculação potencializou os efeitos do fungo, prolongando sua influência sobre a alocação de biomassa. Resultados semelhantes foram relatados em ensaios de alface em estufa, nos quais aplicações múltiplas de *Trichoderma* mantiveram a colonização ativa por mais tempo e resultaram em maior produção de biomassa em comparação a uma única aplicação (Lee *et al.*, 2023; Saia *et al.*, 2019).

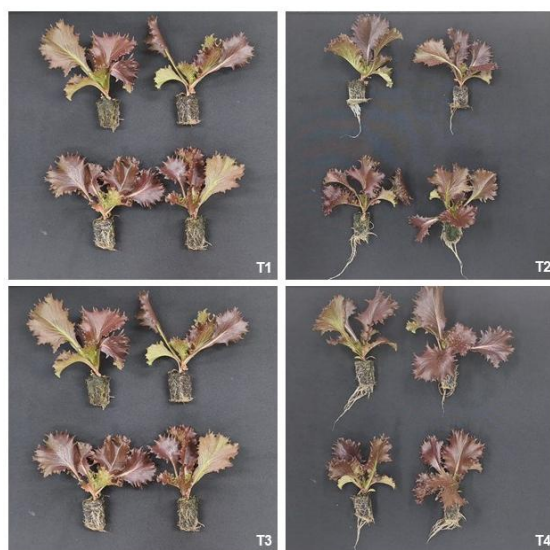
Por outro lado, para comprimento da parte aérea e número de folhas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. O crescimento da parte aérea é altamente sensível a fatores ambientais, como intensidade e qualidade da luz, temperatura e umidade, que afetam diretamente processos fotossintéticos e a expansão foliar (Lee *et al.*, 2023). Dessa forma, quando essas condições são semelhantes entre os tratamentos, como no presente estudo, é comum que diferenças na parte aérea sejam menos evidentes em curto prazo, enquanto o sistema radicular responde mais rapidamente à inoculação com microrganismos.

O aumento observado nas variáveis radiculares em T2 - (URM 5911) e T4 - (BV10) pode estar relacionado à capacidade de *T. asperellum* de colonizar a rizosfera e modular processos fisiológicos, como a síntese de compostos semelhantes a auxinas, que estimulam a emissão e o alongamento radicular (Kottbauer *et al.*, 2017; Selvaraj *et al.*, 2016). Esses mecanismos são amplamente descritos na literatura (Contreras-Cornejo *et al.*, 2009; Harman *et al.*, 2004), embora a intensidade da resposta varie de acordo com a estirpe, o substrato e as condições de cultivo (Chamswarnng *et al.*, 2019).

Figura 2. Alface cv. Gabriela 14 dias após a primeira inoculação com *T. asperellum*. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).



Figura 3. Alface cv. Gabriela 7 dias após a segunda inoculação com *T. asperellum*. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).



Resultados semelhantes já foram relatados por Roupael *et al.* (2020), que observaram aumento do peso seco total em plantas adultas de alface cultivadas em estufa e campo aberto com o uso de *Trichoderma*. Outros estudos confirmam ganhos em rendimento, área foliar e biomassa radicular e aérea de alface cultivada em sistemas protegidos em solo (Caruso *et al.*, 2020; Ojjira *et al.*, 2020; Saia *et al.*, 2019). Esses efeitos podem ser explicados pela capacidade de determinadas estirpes de *T. asperellum* de colonizar eficientemente a rizosfera, modular a arquitetura radicular e favorecer a absorção de nutrientes por meio de solubilização de fósforo e produção de sideróforos (Serrano-Gómez *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2023; Saleh *et al.*, 2022).

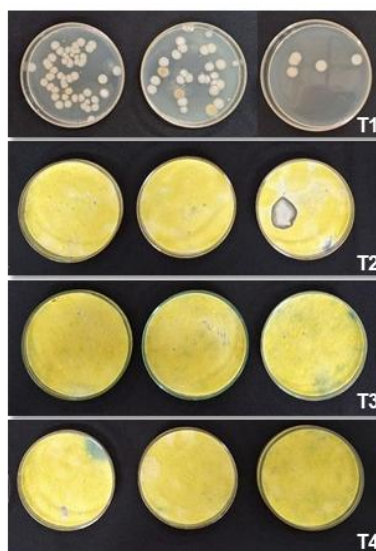
Dessa forma, a maior biomassa observada em T2 - (URM 5911) e T4 - (BV10) está diretamente associada à ação conjunta desses mecanismos fisiológicos.

5.2 Re-isolamento do *T. asperellum* da rizosfera e da raiz

O re-isolamento da rizosfera revelou a presença de *T. asperellum* em todos os tratamentos inoculados, conforme ilustrado na Figura 4. Apenas no Tratamento 1, correspondente ao controle, não foi detectada a presença do fungo. Além de *T. asperellum*, também foram observados outros microrganismos, incluindo diferentes espécies de fungos e leveduras.

A rizosfera, a área do substrato ao redor das raízes das plantas, se destacou por sua riqueza em nutrientes devido à liberação substancial de produtos residuais fotossintéticos pelas raízes. *Trichoderma* spp., incluindo diversas estirpe da rizosfera, colonizam efetivamente raízes de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas, influenciando significativamente o metabolismo da planta (Yuan *et al.* 2016).

Figura 4. Placas de Petri com re-isolamento da rizosfera das mudas de alface cv Gabriela, mostrando a presença do fungo *T. asperellum*. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).



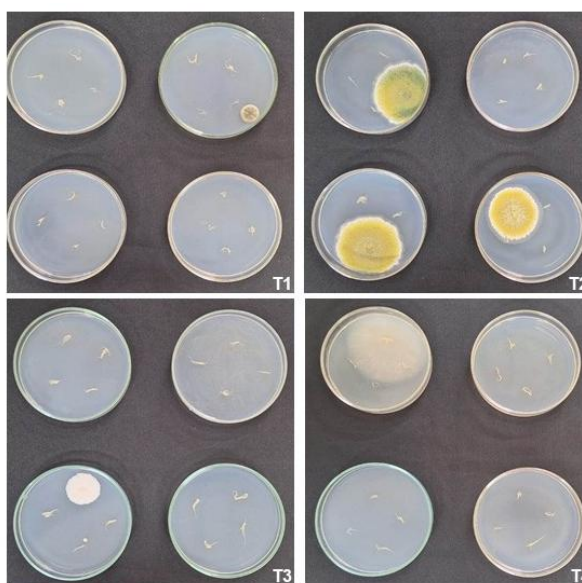
Ethur, *et al.* (2008) analisaram a presença de *Trichoderma* e *Fusarium* em solos rizosféricos e não rizosféricos de tomateiros (*Lycopersicon esculentum*) e pepineiros (*Cucumis sativus*), tanto em horta quanto em ambiente protegido (estufa). Os resultados indicaram que, no solo de estufa, há uma predominância de *Trichoderma*

na região rizosférica dessas culturas, enquanto, em horta, sua distribuição ocorre tanto na rizosfera quanto na zona não rizosférica. De maneira semelhante, Sivan; Chet (1989) observaram uma maior concentração de *Trichoderma* spp. (unidade formadora de colônia) UFC/g de solo na rizosfera, evidenciando a preferência desse fungo por esse ambiente, independentemente do tipo de cultivo.

O re-isolamento de *Trichoderma* spp. em raízes é uma prática comum para confirmar a colonização e eficácia desse fungo como agente de biocontrole. A maioria dos estudos mostram que, o *Trichoderma* está presente no solo, próximo as raízes e tem a capacidade de colonizar a rizosfera das plantas.

Nesse estudo pode-se verificar conforme a Figura 5 que, o *T. asperellum* se manteve presente apenas no tratamento 2 (estirpe URM 5911).

Figura 5. Placas de Petri contendo raízes das mudas de alface cv Gabriela. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10).



Determinadas estirpes de *Trichoderma* são descritas como competentes na rizosfera, podendo estabelecer uma infecção assintomática nas raízes, comportando-se como endofíticos, colonizando tanto a epiderme radicular quanto as camadas corticais externas, liberando moléculas bioativas que contribuem para fortalecer a resistência da planta contra diversos estresses bióticos e abióticos por meio de resistência sistêmica induzida ou adquirida (McLean *et al.*, 2005; Shores *et al.*, 2010)

Cruz-Magalhães *et al.* (2022) descreveram que a colonização das raízes por *Trichoderma* ocorre em várias etapas. Inicialmente, o fungo identifica moléculas

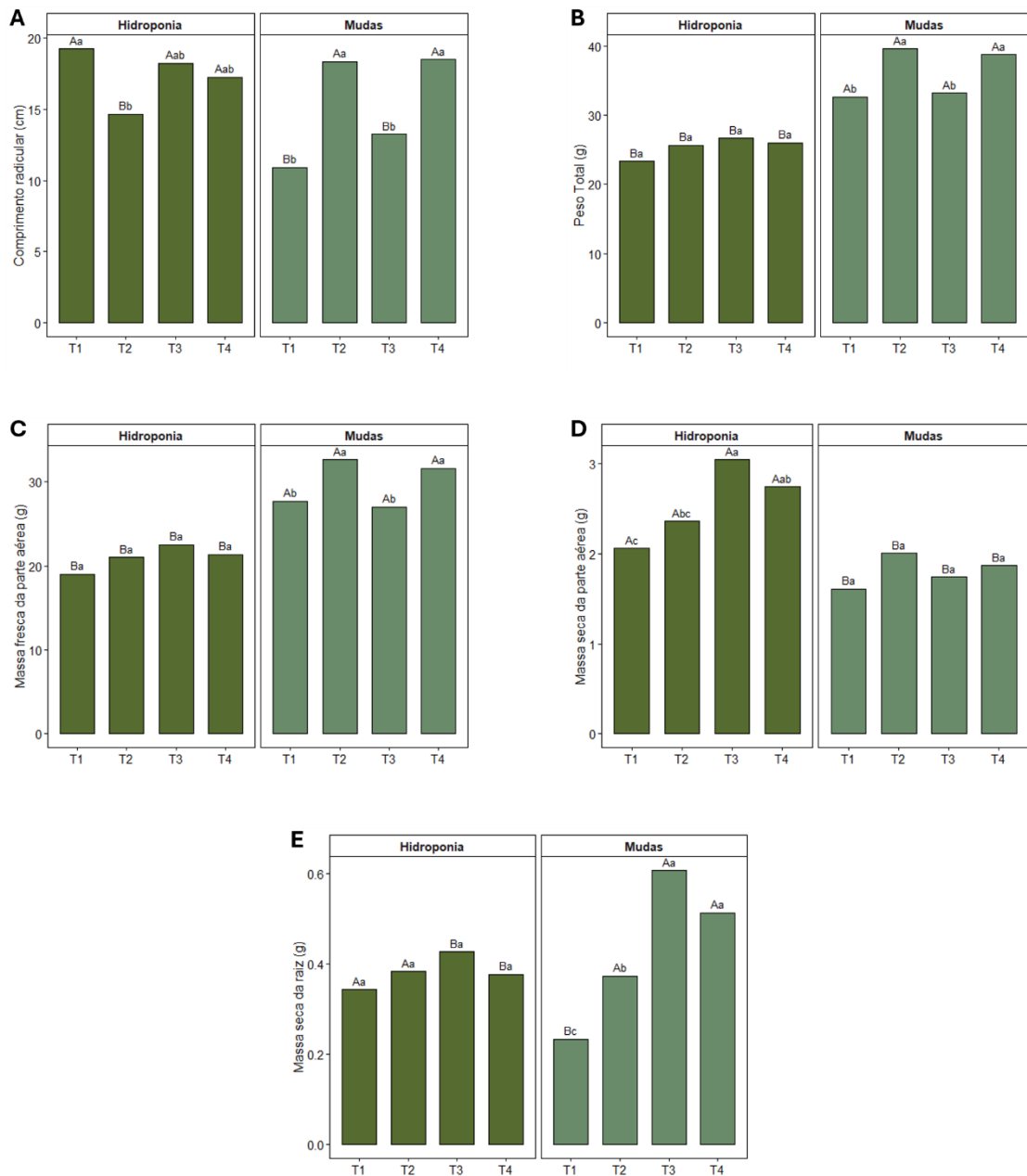
liberadas pelas raízes e interage com a microbiota da rizosfera, seja competindo ou cooperando com os microrganismos presentes. Ao alcançar o rizoplasma, *Trichoderma* precisa superar ou modular as barreiras de defesa da planta por meio da liberação de compostos específicos, facilitando seu estabelecimento nas raízes. Durante esse processo, o fungo produz metabólitos secundários, que não apenas influenciam o desenvolvimento radicular, mas também atuam na supressão de bactérias, nematoides e patógenos filamentosos.

No entanto, a colonização endofítica das raízes por *Trichoderma* não é um processo simples e depende da capacidade específica de cada estirpe. Geralmente, o fungo tende a permanecer na rizosfera, onde exerce funções benéficas, como a promoção do crescimento vegetal e a proteção contra patógenos. Além disso, a colonização endofítica por *Trichoderma* não garante necessariamente um efeito benéfico correspondente para a planta.

5.3 Comparação entre inoculação em mudas e via solução nutritiva de *T. asperellum* no cultivo de alface hidropônica

Para a comparação entre as vias de inoculação de *Trichoderma* spp. em alface submetida à sistema de cultivo em hidroponia, para a primeira avaliação realizada 14 dias após o transplante, a interação entre os fatores “tratamentos” e “via de inoculação”, foi significativa (p -valor < 0,05) para as variáveis de comprimento radicular, peso total, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa fresca da raiz, de forma que prosseguiu-se com o desdobramento da interação, explicitado na Figura 6.

Figura 6. Efeitos da aplicação de *Trichoderma* spp. **A:** comprimento radicular (CR); **B:** Peso total (PT); **C:** Massa fresca da parte aérea (MFPA); **D:** Massa seca parte aérea (MSPA) e **E:** Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela após 14 dias de transplântio na hidroponia, submetidas a inoculação via solução nutritiva da hidroponia (Hidroponia) ou mudas pré inoculadas. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula vias de inoculação, e minúscula entre tratamentos, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).



No comprimento radicular, verificou-se interação significativa entre as estirpes e via de inoculação. Nas alfaces submetidas a inoculação via solução nutritiva da hidroponia, a controle (T1) apresentou maiores raízes, enquanto T2 - (URM 5911) reduziu o desenvolvimento radicular e T3 - (CBMAI 1622) e T4 - (BV10) ficaram em posição intermediária. Já na inoculação em mudas, as estirpes dos tratamentos 2 e 4 se destacaram com maior comprimento radicular, diferindo de T1 e T3 - (CBMAI 1622).

Para o peso total e massa fresca da parte aérea na hidroponia, os tratamentos não diferiram entre si e mantiveram valores inferiores, enquanto na via mudas os tratamentos T2 - (URM 5911) e T4 - (BV10) promoveram ganhos significativos em biomassa, possivelmente em função da colonização precoce das raízes. Essa vantagem inicial confirma observações de El-Sayed *et al.* (2022) e Zhao *et al.* (2023), que relatam que a pré-inoculação com *Trichoderma* em mudas de hortaliças garante vantagens competitivas no acúmulo de biomassa e na eficiência de absorção nas primeiras semanas em hidroponia mesmo sem re-inoculação no sistema.

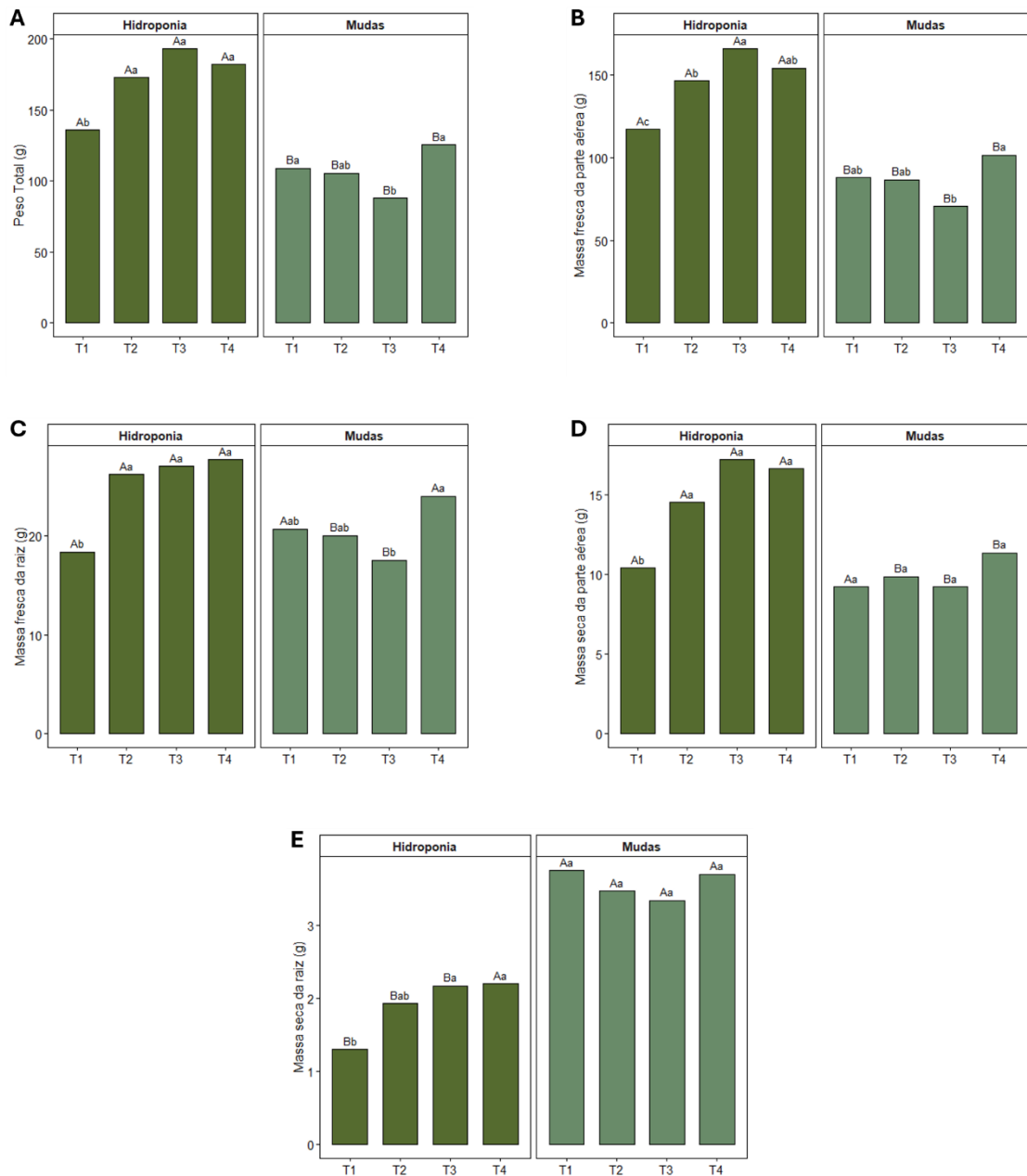
Na massa seca da parte aérea, verificou-se que a inoculação via solução nutritiva resultou em maiores valores quando comparada à via de mudas, evidenciando que o contato contínuo das raízes com *T. asperellum* favorece o acúmulo de biomassa aérea ao longo do ciclo. Dentro da hidroponia, a estirpe T3 - (CBMAI 1622) apresentou o melhor desempenho, seguida por T2 - (URM 5911) e T4 - (BV10), enquanto a controle (T1) apresentou o pior desempenho. Já na via de mudas não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Já para massa seca da raiz, observou-se comportamento inverso, com destaque para a inoculação via mudas, que apresentou maiores valores em comparação à hidroponia, com destaque para T3 - (CBMAI 1622) e T4 - (BV10), que superaram significativamente a controle (T1), enquanto na hidroponia as diferenças entre os tratamentos não foram expressivas. Resultados semelhantes foram descritos por Gutiérrez-Chávez *et al.* (2025), ao observar incremento da biomassa aérea de alface hidropônica inoculada com *T. asperellum*, e por Alzyoud *et al.* (2025), que destacaram o papel da inoculação precoce no vigor radicular mesmo sob condições adversas. Esses achados reforçam que os efeitos de *T. asperellum* variam de acordo com a estirpe e a estratégia de aplicação, sendo que a inoculação em mudas favorece o estabelecimento inicial e a robustez do sistema radicular, enquanto a inoculação na solução nutritiva tende a beneficiar o acúmulo de biomassa aérea ao longo do ciclo.

Esse padrão inicial pode estar associado ao maior tempo de exposição do microrganismo às raízes, uma vez que as mudas receberam duas inoculações antes do transplante, possibilitando a colonização precoce da rizosfera e o estabelecimento de interações simbióticas mais estáveis. Shores *et al.* (2010) destacam que a colonização inicial por *Trichoderma* é capaz de modular rotas hormonais e induzir respostas relacionadas ao crescimento, o que ajuda a explicar a vantagem observada nesse estágio inicial. Em estágios iniciais desse sistema de cultivo (hidroponia), tais parâmetros tendem a responder mais lentamente, pois as plantas passam por um período de adaptação às novas condições, priorizando ajustes fisiológicos e o desenvolvimento radicular antes de direcionar recursos para o crescimento da parte aérea (Bélanger *et al.*, 2018; Caruso *et al.*, 2020).

Já no que diz respeito a segunda avaliação realizada 23 dias após o transplante, a interação entre os fatores “tratamentos” e “via de inoculação”, foi significativa (p -valor < 0,05) para as variáveis de peso total, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea e massa fresca da raiz, de forma que se prosseguiu com o desdobramento da interação, apresentado na Figura 7.

Figura 7. Efeitos da aplicação de *Trichoderma* spp. **A:** Peso total (PT); **B:** Massa fresca da parte aérea (MFPA); **C:** Massa fresca da raiz (MFR), **D:** Massa seca parte aérea (MSPA) e **E:** Massa seca raiz (MSR) da alface Gabriela após 23 dias de transplântio na hidroponia, submetidas a inoculação via solução nutritiva da hidroponia (Hidroponia) ou mudas pré inoculadas. T1: Controle, T2: *T. asperellum* (URM 5911), T3: *T. asperellum* (CBMAI 1622), T4: *T. asperellum* (BV10). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula vias de inoculação, e minúscula entre tratamentos, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).



Aos 23 dias após o transplântio, observou-se que a inoculação de *T. asperellum* exerceu efeitos distintos sobre as variáveis produtivas da alface, sendo influenciados tanto pela via de aplicação quanto pela estirpe utilizada. As variáveis peso total, massa fresca parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca parte aérea apresentou desempenho superior com a inoculação via hidroponia, independentemente da estirpe avaliada.

Esse resultado mostra que o contato contínuo com o fungo na solução nutritiva passou a ser mais determinante do que a inoculação prévia em mudas, superando gradualmente a vantagem inicial. Dentro da hidroponia, todas as estirpes promoveram incrementos em biomassa em relação à controle. Estudos em outros cultivos hidropônicos corroboram esses achados. Singh *et al.* (2019) observaram aumento expressivo no acúmulo de biomassa em tomateiro inoculado com *Trichoderma* em solução nutritiva, enquanto Caruso *et al.* (2020) destacaram maior eficiência fotossintética em plantas de pepino sob inoculação contínua em hidroponia.

O único parâmetro em que as mudas mantiveram desempenho superior foi a massa seca da raiz. Nesse caso, todas as plantas previamente inoculadas apresentaram valores mais altos, independentemente da estirpe. Isso sugere que a colonização precoce exerce efeito mais duradouro sobre a diferenciação e o acúmulo de biomassa seca radicular, o que pode estar relacionado à ativação de mecanismos de resistência e adaptação estrutural (Mastouri *et al.*, 2010). Esse resultado mostra que os efeitos da via de aplicação não são uniformes e que diferentes estratégias podem atuar de forma complementar: inoculação precoce em mudas garantindo maior robustez radicular e aplicação em hidroponia promovendo incrementos na biomassa aérea e peso total.

De forma integrada, este estudo revela que a resposta ao *T. asperellum* em alface hidropônica é dinâmica e influenciada pelo tempo de cultivo e pela estirpe empregada. A inoculação em mudas confere vantagem inicial devido ao maior tempo de colonização e estabelecimento do fungo, refletindo em raízes mais longas e maior acúmulo de massa seca radicular. Com o avanço do ciclo, entretanto, a inoculação direta na solução nutritiva mostrou-se mais eficaz para o acúmulo de biomassa aérea e peso total, efeito provavelmente relacionado à maior disponibilidade contínua de propágulos e metabólitos do fungo em contato com as raízes. Esses achados corroboram diferentes trabalhos que destacam a importância tanto da estirpe quanto

do momento de aplicação (Alzyoud *et al.*, 2025; Gutiérrez-Chávez *et al.*, 2025; Ploček *et al.*, 2024).

5.4 Monitoramento do *Trichoderma asperellum* e análise fitopatológica

Durante o experimento em cultivo hidropônico, foi realizado o monitoramento microbiológico da solução nutritiva de cada reservatório (T1, T2, T3 e T4). Semanalmente, amostras foram coletadas e plaqueadas em meio BDA, visando verificar de forma qualitativa a presença de *Trichoderma* spp. ao longo do cultivo. Essa análise permitiu acompanhar a persistência e a colonização do fungo nas soluções hidropônicas até o final do experimento.

Adicionalmente, ao término do ciclo experimental, as mudas de alface foram encaminhadas à Clínica Fitopatológica da ESALQ, onde foram realizadas análises para identificação de possíveis patógenos associados às raízes.

No experimento em que a via de aplicação do *Trichoderma* foi a inoculação, mas mudas, foram detectadas a presença de *Pythium* spp. e *Thielaviopsis basicola* em T1 e T2 - (URM 5911), microrganismos conhecidos por causar doenças radiculares e reduzir o desempenho da cultura. Em T3 - (CBMAI 1622) e T4 - (BV10), por outro lado, não foram observados patógenos, mas sim elevada colonização por *Trichoderma* spp. Embora a alta concentração desse fungo possa, em alguns casos, competir com as plantas por oxigênio e nutrientes no ambiente hidropônico (Gravel *et al.*, 2007), no presente estudo apenas T3 - (CBMAI 1622) parece ter sido negativamente afetado. No caso de T4 - (BV10), mesmo com elevada colonização, os resultados de crescimento e biomassa se mantiveram superiores, sugerindo que a estirpe utilizada foi capaz de equilibrar a competição com benefícios fisiológicos à planta. Cabe ressaltar que, no presente estudo, as mudas de alface foram submetidas a duas inoculações de *T. asperellum*, o que pode ter resultado em elevada concentração do microrganismo e, conseqüentemente, em efeitos adversos ao desenvolvimento das plantas.

No experimento em que a via de aplicação foi a inoculação direta na solução nutritiva, a análise fitopatológica final indicou presença mínima de *Pythium* spp. no controle (T1) e ocorrência de *Thielaviopsis basicola* em T4 - (BV10). No tratamento T2 - (URM 5911) não foram detectados microrganismos fitopatogênicos, enquanto em T3 - (CBMAI 1622) foi constatada a presença da bactéria *Pectobacterium carotovorum*. A ocorrência desses patógenos está associada às condições de alta umidade e

temperatura que caracterizam sistemas hidropônicos, ambientes naturalmente favoráveis ao desenvolvimento de doenças radiculares. O fato de *Pythium* não ter sido identificado nos tratamentos 2, 3 e 4 sugere um possível efeito protetor conferido pelo *T. asperellum*. Esse antagonismo é coerente com evidências científicas que demonstram a eficácia de *T. asperellum* no controle do apodrecimento radicular causado por *Pythium* em sistemas hidropônicos. Em estudo conduzido por Chewapanich *et al.* (2021), a estirpe CB-Pin-01 de *T. asperellum* reduziu significativamente a incidência de *Pythium aphanidermatum* em alface cultivada em solução nutritiva NFT, promovendo não só a diminuição do índice de podridão radicular, mas também incrementos notáveis em biomassa aérea, peso total e volume radicular.

De modo geral, as análises fitopatológicas confirmaram a presença de *T. asperellum* nas amostras coletadas ao longo do ciclo, evidenciando sua capacidade de persistência no sistema. Além disso, a avaliação clínica realizada ao final do experimento não indicou sintomas característicos de doenças que comprometessem o desenvolvimento das plantas, reforçando a segurança do uso do microrganismo como inoculante em sistemas hidropônicos. Esses resultados demonstram que a aplicação de *T. asperellum* contribuiu para a colonização da rizosfera e se mostrou compatível com a produção de mudas saudáveis, condição essencial para seu potencial uso como bioinsumo em cultivos comerciais. No entanto, cabe destacar que o excesso de inoculações pode ter prejudicado o desempenho de alguns tratamentos, indicando que futuras pesquisas deveriam considerar a aplicação de apenas uma inoculação nas mudas, de forma a equilibrar o estabelecimento do fungo sem comprometer o desenvolvimento da cultura.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a inoculação de *Trichoderma asperellum* tem efeito positivo no desenvolvimento da alface, variando conforme a estirpe utilizada e a estratégia de aplicação. Na fase de produção de mudas, a estirpe URM5911 (T2) destacou-se pelo incremento no peso total e biomassa radicular em estágios iniciais, sugerindo maior vigor de mudas. No cultivo em hidroponia, observou-se que, no curto período, as mudas inoculadas mantiveram vantagem sobre a aplicação direta na solução nutritiva, apresentando melhores resultados em comprimento radicular e biomassa total. No entanto, após períodos mais prolongados (final do ciclo), a inoculação via solução nutritiva passou a ser mais eficiente para o acúmulo de biomassa aérea e peso total, evidenciando que o contato contínuo do fungo com as raízes favorece o crescimento vegetativo e produtivo. De maneira geral, conclui-se que as duas vias de aplicação apresentam vantagens complementares: a inoculação em mudas favorece o desenvolvimento inicial e a formação de raízes mais consistentes, enquanto a inoculação em solução nutritiva garante maior produtividade aérea ao longo do ciclo. Assim, protocolos que combinem ambas as estratégias iniciando a colonização nas mudas e reforçando posteriormente na solução nutritiva apresentam potencial para otimizar o desempenho da cultura e maximizar os efeitos promotores de crescimento de *T. asperellum* em sistemas hidropônicos de alface. Ressalta-se, contudo, que neste estudo as mudas receberam duas inoculações, o que pode ter influenciado a dinâmica de colonização. Dessa forma, recomenda-se que futuros trabalhos testem diferentes esquemas de aplicação, incluindo apenas uma inoculação inicial associada a reforços posteriores, de modo a otimizar a relação dose–resposta e isolar melhor os efeitos de cada fase. Apesar dos resultados promissores, estudos adicionais são necessários para validar a consistência em diferentes condições de cultivo e aprofundar a compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos, ressaltando que a escolha da estirpe é determinante para o sucesso do uso de *T. asperellum* como promotor de crescimento.

7 LITERATURA CITADA

ABDULLAH, N. S. *et al.* Harnessing *Trichoderma* in agriculture for productivity and sustainability. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2559, 2021.

AGROTECH. *Trichoderma*: tudo sobre o fungo que ajuda no controle biológico de doenças. 2020. Disponível em: <https://tecnologianocampo.com.br/trichoderma/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ALMEIDA, M. C.; LIMA, D. F.; SILVA, F. G. *et al.* Evaluation of *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma harzianum* as biological control agents in corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 102-108, 2020.

ALTOMARE, C.; NORVELL, W. A.; BJÖRKMAN, T. *et al.* Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, n. 7, p. 2926-2933, 1999.

ALZYOUD, M. *et al.* *Trichoderma* spp. as plant growth-promoting fungi in hydroponic systems: potential and challenges. **Applied Sciences**, v.15, n.2, p.123-135, 2025.

ANUÁRIO BRASIL HIDROPONIA. 1. ed. Porto Alegre: Plataforma Hidroponia, 2018. Disponível em: https://revistahidroponia.com.br/wp-content/uploads/2024/08/Anuario_Brasil_Hidroponia_amostra_gratis.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.

ASGHAR, W. *et al.* The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus, in sustainable soil health intensification: a comprehensive strategy for addressing challenges. **Plant Stress**, p. 1045, 2024.

AZEVEDO FILHO, J. A.; LUCON, C. M. M.; DUARTE, L. M. L. Efeito da aplicação de isolados de *Trichoderma* na produção de alface. **Revista Brasileira de Produção de Milho e Sorgo**, v. 10, p. 47-54, 2011.

BARBOSA, J. *et al.* Influência de esterco bovino e microrganismo promotores de crescimento na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), no município de Garanhuns, PE. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society, 1998.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and agricultural applications. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 215-231, 2005.

BAUGH, C. L.; ESCOBAR, B. The genus *Bacillus* and genus *Trichoderma* for agricultural bio-augmentation. **Rice Farm Magazine**, p. 1-4, 2007.

BÉLANGER, R. R. *et al.* Chapter 9 – Crop nutrition and fertilization in hydroponics. *In*: JONES JR., J. Benton (3.ed.). **Plant nutrition and soil fertility manual**. Boca Raton: CRC Press, 2018. p. 165-184.

BERNARDO, J. T. *et al.* Isolamento *on farm* de *Trichoderma*: uma ferramenta no controle de doenças de solo para os agricultores no Brasil. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 5, n. 3, p. 263-270, 2019.

BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. *In*: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 21-43.

BEZERRA NETO, F. *et al.* Produtividade de alface em função de condições de sombreamento e temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 189-192, 2005.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 8, p. 107-137, 2011.

BLISKA JUNIOR, A. *et al.* *Montagem da estrutura hidropônica*. 2. ed. Brasília: SENAR, 2004. 132 p.

CARILLO, P. *et al.* Application of *Trichoderma harzianum*, 6-Pentyl- α -pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 771, 2020.

CARVALHO FILHO, M. R. *et al.* Avaliação de isolados de *Trichoderma* na promoção de crescimento, produção de ácido indolacético *in vitro* e colonização endofítica de mudas de eucalipto. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 226. Brasília: Embrapa, 2008.

CARVALHO, D. D. C. *et al.* Biocontrol of seed pathogens and growth promotion of common bean seedlings by *Trichoderma harzianum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 822-828, 2011.

CARUSO, G. *et al.* Effects of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma atroviride* on lettuce grown in greenhouse. **Horticulturae**, v. 6, n. 3, p. 54, 2020.

CARUSO, G. *et al.* Effect of *Trichoderma harzianum* and *Glomus intraradices* on yield, quality, and nutritional status of lettuce grown under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109, 2020.

CARUSO, G. *et al.* *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. yield and quality as influenced by cropping season, protein hydrolysates, and *Trichoderma* applications. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 697, 2020.

CASER, M. *et al.* Activity of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle extract as a potential bioherbicide for sustainable weed management in horticulture. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 965, 2020.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SOARES, L. P. *et al.* *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2016.

CHAVES, P. P. N. **Qualidade de mudas de alface inoculadas com *Trichoderma* e reação de plantas adultas a nematoides de galhas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2015.

CHEWAPANICH, W.; CHAROENRAK, P.; INTANOO, W. *et al.* Efficacy of *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 and potassium dihydrogen phosphate to enhance growth and yield and reduce *Pythium* root rot of hydroponically grown lettuce. **Agriculture and Natural Resources**, Bangkok, v. 55, n. 4, p. 601–610, ago. 2021.

CRUZ-MAGALHÃES, V. *et al.* *Trichoderma* rhizosphere competence, suppression of diseases, and biotic associations. In: MEENA, V. S. (ed.). **Microbial Cross-talk in the Rhizosphere**. Singapore: Springer Nature, 2022. p. 235-272.

COLLA, G. *et al.* Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 8, p. 1706–1715, 2015.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. *et al.* Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 4, 2016.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. *et al.* *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 149, p. 1579-1592, 2009.

DE SOUSA ANTUNES, L. F. *et al.* Avaliação química de substratos orgânicos armazenados e sua eficiência na produção de mudas de alface. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 139-155, 2019.

DOMINGUES, S. C. O.; CARVALHO, M. A. C.; CRUZ, J. L. G. D. Microrganismos promotores de crescimento em alface. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 13-21, 2021.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2011.

ESPOSITO, E.; SILVA, M. Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma*. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 89-98, 1998.

ETHUR, L. Z. *et al.* Presença dos gêneros *Trichoderma* e *Fusarium* em solo rizosférico e não rizosférico cultivado com tomateiro e pepineiro, em horta e estufa. **Ciência Rural**, v. 38, p. 19-26, 2008.

EXAME. Mercado de alface cresce continuamente no Brasil. 2021. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-alface-cresce-continuamente-nobrasilshhtml/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

FACTOR, T. L. *et al.* Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 82-87, 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FELTRIN SEMENTES. Gabriela: alface crespa roxa. Disponível em: <https://sfel.me/ficha/939P>. Acesso em: 13 mar. 2025.

FERRIS, H.; LUO, D.; SHER, A. J. Long-term effects of *Trichoderma* inoculation on hydroponically grown vegetables. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 3935-3945, 2020.

FERREIRA, L. L. *et al.* Vermicompostos como substrato na produção de mudas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) e couve-folha (*Brassica oleracea* var. *acephala*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 256-263, 2014.

FRANCISCO, M. R. **Seleção e identificação de *Trichoderma* spp. e potencial para produção de enzimas industriais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GARNICA-VERGARA, A. *et al.* The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ETHYLENE INSENSITIVE 2 functioning. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1496-1512, 2016.

GOMES, T. M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A. *et al.* Aplicação de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 316-319, 2005.

GUTIÉRREZ-CHÁVEZ, A. *et al.* Potential of *Trichoderma asperellum* as a growth promoter in hydroponic lettuce cultivated in a floating-root system. **Plants**, v. 14, n. 3, p. 382, 2025.

GUTIÉRREZ-CHÁVEZ, A. J. *et al.* Effect of *Trichoderma asperellum* inoculation on hydroponic lettuce growth and nutrient uptake. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.44, n.1, p.45-57, 2025.

HAIJEGHRARI, B. Effects of some Iranian *Trichoderma* isolates on maize seed germination and seedling vigor. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, p. 4242-4347, 2010.

HARMAN, G. E. *et al.* *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, p. 43-56, 2004.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 7 p.

HIRST, A. K. *et al.* Selected beneficial microbes alleviate salinity stress in hydroponic lettuce and pak choi. **HortTechnology**, v. 34, n. 3, p. 345-352, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2020. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

JESUS, B. *et al.* PANCs – Plantas Alimentícias Não Convencionais, benefícios nutricionais, potencial econômico e resgate da cultura: uma revisão sistemática. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 33, 2020.

JULKUNEN-TIITTO, R.; NIEMINEN, M.; NYBAKKEN, L. Leaf chemistry and morphology in plant defense strategies. **Functional Ecology**, v. 29, n. 3, p. 315-326, 2015.

KHAN, S. *et al.* Mass multiplication and shelf life of liquid fermented final product of *Trichoderma viride* in different formulations. **Advances in Bioresources**, v. 2, p. 178–182, 2011.

KIM, H. J. *et al.* Growth responses of leafy vegetables to *Trichoderma* inoculation under soilless culture. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 62, p. 657-668, 2021.

KOTTBAUER, D. *et al.* Hormonal crosstalk triggered by beneficial fungi in roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 320-329, 2017.

KUBIAK, A. *et al.* Fungi of the *Trichoderma* genus: future perspectives of benefits in sustainable agriculture. **Applied Sciences**, v. 13, n. 11, p. 6434, 2023.

LEAL, R. C.; SCHIMIM, E. S. A horta como possibilidade de alimentação saudável. In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. **Os desafios da Escola Pública Paranaense na perspectiva do professor**. Curitiba: SEED, 2016.

LEE, S. H. *et al.* Environmental modulation of lettuce growth in controlled systems. **Horticultural Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 12-25, 2023.

LEMOS NETO, H. S. *et al.* Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce? **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 1, p. 71-77, 2020.

LIMA, C. S. M. *et al.* Differential responses of lettuce to *Trichoderma asperellum* depending on strain and growth stage. **Scientia Agricola**, v.79, n.5, p.1-9, 2022.

LÓPEZ-BUCIO, J. *et al.* *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 109-123, 2015.

MACHADO, D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MATSUBARA, R. Y. H. **Perdas na produção de alface em sistema agroflorestal**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

MALDONADE, I. R.; MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L. **Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface**. Brasília: Embrapa, 2014. 44 p.

MASTOURI, F.; SHORESH, M.; HARMAN, G. E. *Trichoderma*-induced systemic resistance and modulation of plant hormones. **Plant Signaling & Behavior**, v.5, n.6, p.635-641, 2010.

MINAMI, K. *Produção de mudas de alta qualidade em horticultura*. **Horticultura Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 2-6, 1995.

MINAMI, K. *Produção de mudas de alta qualidade*. Piracicaba: Degaspari, 2010. 440 p.

MCLEAN, K. L. *et al.* Effect of formulation on the rhizosphere competence and biocontrol ability of *Trichoderma atroviride* C52. **Plant Pathology**, v. 54, p. 212-218, 2005.

MOUROUZIDOU, S. *et al.* Introducing the power of plant growth-promoting microorganisms in soilless systems: a promising alternative for sustainable agriculture. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 5959, 2023.

MOREIRA, L. F. *et al.* Lettuce growth promotion by *Trichoderma* spp. inoculation at different developmental stages. **Horticultura Brasileira**, v.40, p.234-242, 2022.

MOREIRA, V. D. A. *et al.* Inoculation with *Trichoderma harzianum* and *Azospirillum brasilense* increases nutrition and yield of hydroponic lettuce. **Archives of Microbiology**, v. 204, art. e440, 2022.

NAHIDAN, S.; AHADI, N.; ABDUOLRAHIMI, S. Efficiency of some fungal species in phosphate solubilization and potassium and iron release from phlogopite and muscovite. **Applied Soil Ecology**, v. 11, n. 1, p. 112-124, 2023.

NAWROCKA, J.; MAŁOLEPSZA, U. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. **Biological Control**, v. 67, n. 2, p. 149-156, 2013.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* Morphophysiological responses of lettuce cultivars to environmental variations in hydroponics. **Bragantia**, v. 82, p. e20230135, 2023.

OLJIRA, A. M. *et al.* *Trichoderma* enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. **Microorganisms**, v. 8, n. 10, p. 1565, 2020.

PATEKOSKI, K. S.; PIRES-ZOTTARELLI, C. L. A. Patogenicidade de *Pythium aphanidermatum* a alface cultivada em hidroponia e seu biocontrole com *Trichoderma*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 805-810, 2010.

PECCATTI, A. *et al.* Effect of *Trichoderma* spp. on the propagation of *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3, p. 435-442, 2019.

PEREIRA, G. V. N. **Promoção do crescimento de mudas de maracujazeiro inoculadas com *Trichoderma* spp.** 2012. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

PÖLDMA, P. *et al.* The effect of *Trichoderma viride* on the growth of lettuce seedlings. **Agronomy Research**, v. 6, n. 2, p. 527-534, 2008.

POMELLA, A. W. V.; RIBEIRO, R. T. S. Controle biológico com *Trichoderma* em grandes culturas – uma visão empresarial. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 238-244.

PROMWEE, A.; INTANA, W. *Trichoderma asperellum* (NST-009): a potential native antagonistic fungus to control *Cercospora* leaf spot and promote the growth of ‘Green Oak’ lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in the commercial NFT hydroponic system. **Plant Protection Science**, v. 58, n. 2, p. 139-149, 2022.

RADER, H.; KARLSSON, M. G. Effects of photoperiod and light quality on lettuce growth. **HortScience**, v. 50, n. 6, p. 848-853, 2015.

ROMAGNA, I. S.; JUNGES, E.; KARSBURG, P. Bioestimulantes em sementes de olerícolas submetidos a testes de germinação e vigor. **Scientia Plena**, v. 15, n. 7, p. 1-10, 2019.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: bioestimulantes na agricultura. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 40, 2020.

ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P.; COLLA, G. *et al.* Appraisal of combined applications of *Trichoderma virens* and a biopolymer-based biostimulant on lettuce agronomical, physiological, and qualitative properties under variable N regimes. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 196, 2020.

ROUPHAEL, Y. *et al.* The use of plant biostimulants for enhancing growth and quality of horticultural crops. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 267-283, 2020.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SALDINGER, S. S. *et al.* Hydroponic agriculture and microbial safety of vegetables: promises, challenges, and solutions. **Horticulturae**, v. 9, n. 1, p. 51, 2023.

SALEH, A. M. *et al.* Influence of *Trichoderma* on nutrient uptake and growth of lettuce under hydroponic conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 11, p. 1587-1599, 2022.

SALEH, A. M. *et al.* Improvement of lettuce (*Lactuca sativa*) growth and quality in hydroponic systems by inoculation with beneficial fungi (*Trichoderma* spp.). **Horticulturae**, v. 8, n. 4, p. 321, 2022.

SAIA, S. *et al.* Impact of *Trichoderma harzianum* on yield, nutrient uptake, and physiological traits of greenhouse lettuce. **Acta Horticulturae**, v. 1268, p. 73-80, 2019.

SAMUELS, G. J. *et al.* *Trichoderma asperellum* sensu lato consists of two cryptic species. **Mycological Research**, v. 102, n. 4, p. 944-966, 2010.

SAMUELS, G. J. *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. **Mycological Research**, v. 100, n. 8, p. 923-935, 1996.

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

SANTOS, H. A.; MELLO, S. C. M.; PEIXOTO, J. R. Associação de isolados de *Trichoderma* spp. e ácido indol-3-butírico (AIB) na promoção de enraizamento de estacas e crescimento de maracujazeiro. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 966-972, 2010.

SANTOS, G. R. *et al.* Efeito de *Trichoderma* spp. no enraizamento de estacas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 571-578, 2010.

SILVA, V. N.; GUZZO, S. D.; LUCON, C. M. M. *et al.* Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1609-1618, 2012.

SILVA, A. C. *et al.* Formação de mudas de alface em diferentes bandejas e substratos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 465-471, 2017.

SILVA, N. G. *et al.* *Trichoderma* na germinação de sementes e no desenvolvimento inicial com vermicomposto em hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 430-437, 2018.

SILVA, J. A. *et al.* Efeito da aplicação de fungos promotores de crescimento no cultivo de rúcula. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 247-252, 2020.

SILVA, L. R. da. **Compostos orgânicos voláteis de *Trichoderma* spp. no controle de mofo-branco e promoção de crescimento em alface**. 2020. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SILVA, E. S. *et al.* Uso de *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento de mudas de alface. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 3, p. 534-543, 2021.

SILVA, M. M. S. *Trichoderma e sua crise de identidade*. Elevagro, 18 fev. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/2094-Trichoderma-e-sua-crise-de-identidade>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SINGH, M. *et al.* In-vivo evaluation of competitive parasitic ability and rhizosphere colonisation of different *Trichoderma* isolates. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 4, p. 32-38, 2016.

SIVAN, A.; CHET, I. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. **Phytopathology**, v. 79, p. 198-203, 1989.

SELVARAJ, T.; SUNDARAM, S.; RAVIKUMAR, R. Effect of *Trichoderma asperellum* on plant growth, nutrient uptake, and yield of crops. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 1, p. 19-25, 2016.

SERRANO-GÓMEZ, C. I. *et al.* Influence of *Trichoderma asperellum* on lettuce growth and physiology in floating hydroponic systems. **Horticultural Science**, v. 55, n. 7, p. 1054-1062, 2020.

SERRANO-GÓMEZ, M. E. *et al.* Influence of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and biomass production in lettuce grown in hydroponics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 18, p. 2760-2772, 2020.

SHI, W. L. *et al.* Cellular and molecular insight into the inhibition of primary root growth of *Arabidopsis* induced by peptaibols, a class of linear peptide antibiotics mainly produced by *Trichoderma* spp. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 8, p. 2191-2205, 2016.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.

SOUSA, H. M. A. **Estratégias de adubação e uso de *Trichoderma* no cultivo orgânico de alface crespa**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

SOUZA, P. A. *et al.* Características químicas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005.

SOUZA, A. C. A. de; SILVA, G. B. da; RÉGO, M. C. F. *et al.* A. Uso do *Trichoderma* na cultura do arroz. *In*: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 349–360.

SCHUSTER, A.; SCHMOLL, M. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 87, n. 3, p. 787-799, 2010.

SPREY, L. M.; FERREIRA, S. A. N.; SPREY, M. M. Physiological quality of pelleted cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) seeds. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 1, e-043, 2019.

TAVARES, A. T. *et al.* Adubação NPK como promotor de crescimento em alface. **Agri-Environmental Sciences**, v. 5, p. 1-10, 2019.

TRANI, P. E. Manejo do solo: calagem e adubação de hortaliças. **Informações Agronômicas**, v. 155, p. 1-7, 2016.

TARGINO, A. J. D. O. **Estratégia de fertirrigação no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em substrato**. 2017. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

TEIXEIRA, D. A. Folhosas: importância socioeconômica no Brasil. **Anuário HF 2023**. Uberlândia: Campo & Negócios, p. 58-63, 2023.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S. Inoculação de bactérias com foco na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. *In*: SEVERIANO, E. C.; MORAES, M. F. de; PAULA, A. M. de (org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 10. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 728.

TOPÇUOĞLU, S. F. *et al.* Effects of *Trichoderma harzianum* on plant growth and nutrient uptake in lettuce. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 26, n. 2, p. 135-146, 2008.

VIDIGAL, M. V.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. I. Ensaio de campo. **Revista Ceres**, v. 42, n. 239, p. 80-88, 1995.

VILELA, N. J.; LUENGO, R. F. A. Produção de hortaliças folhosas no Brasil. **Campo & Negócios**, Uberlândia, ano XII, n. 146, dez. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/producao-de-hortalicas-folhosas-no-brasil>. Acesso em: 10 ago. 2025.

WITKOWICZ, R. *et al.* Biostimulants and microorganisms boost the nutritional composition of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) sprouts. **Agronomy**, v. 9, n. 8, p. 469, 2019.

WIETHAN, M. M. S. **Vermicompostagem e desenvolvimento inicial de alface em doses superiores de *Trichoderma***. 2015. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ZHAO, L.; ZHANG, Y. Effects of phosphate solubilization and phytohormone production of *Trichoderma asperellum* Q1 on promoting cucumber growth under salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2015.

ZHAO, J. *et al.* Root growth promotion and nutrient acquisition in lettuce induced by *Trichoderma asperellum* under hydroponic conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 182, p. 104, 2023.

ZHOU, Y. *et al.* Modulation of lettuce growth and root development by *Trichoderma asperellum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 885, 2022.