

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

Matheus Vaitkevicius

**SOLUÇÕES NUTRITIVAS ORGANO-MINERAIS E INOCULAÇÃO
COM MICRORGANISMOS PARA O CULTIVO DE ALFACE
AMERICANA HIDROPÔNICA**

Ilha Solteira -SP
Junho de 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

Matheus Vaitkevicius

**SOLUÇÕES NUTRITIVAS ORGANO-MINERAIS E INOCULAÇÃO
COM MICRORGANISMOS PARA O CULTIVO DE ALFACE
AMERICANA HIDROPÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Orientador

Guilherme Carlos Fernandes

Coorientador

Ilha Solteira -SP
Junho de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Vaitkevicius, Matheus.

V132s Soluções nutritivas organo-minerais e inoculação com microrganismos para o cultivo de alface americana hidropônica / Matheus Vaitkevicius . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024

31 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Inclui bibliografia

1. Hidroponia. 2. Lactuca sativa L.. 3. Nutrição de plantas.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Soluções nutritivas organo-minerais e inoculações com microrganismos para o cultivo de alface americana hidropônica


ALUNO: *Matheus Vaitkevicius*

RA: 182055299


ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,5


Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Data: 26/06/2024 15:23:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 THAIS SOTO BONI
Data: 26/06/2024 15:10:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Thaís Soto Boni

Documento assinado digitalmente
 KARINA DA SILVA SOUZA
Data: 26/06/2024 11:43:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Karina da Silva Souza

Documento assinado digitalmente
 MATHEUS VAITKEVICIUS
Data: 26/06/2024 10:55:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Matheus Vaitkevicius

Ilha Solteira, 26 de junho de 2024.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maristela de Fátima Vieira Vaitkevicius e Luiz Gustavo Vaitkevicius, por serem os meus maiores apoiadores e por tudo que fizeram e fazem por mim. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus e a Maria por sempre estarem comigo e terem me guiado até aqui, me ajudando a superar os momentos difíceis e me guiando através da minha fé.

Aos meus pais Luiz Gustavo e Maristela, que sempre foram a minha base e meus maiores apoiadores, proporcionando uma vida feliz e cheia de amor e ao meu irmão Thiago por todo o apoio, dedico todas as minhas conquistas a vocês.

Ao Tiago Correa, que muito ajudou em meu crescimento pessoal, me ensinando diversas coisas e proporcionando momentos únicos, sou e serei para sempre grato por tudo.

A todos os meus amigos que conheci ao longo desta minha trajetória e que me ajudaram em diversas situações, sendo meu apoio em momentos difíceis, e que guardarei no coração todos os momentos felizes que vivemos, em especial minha grande amiga e parceira Giovanna Carvalho, e meus amigos Gabriel Fexina e Vitor Marino.

Aos meus amigos do predinho Araripe 63, que dividiram não só a moradia, mas momentos e risadas únicas que eu tive durante o meu período em Ilha Solteira, guardarei todos esses momentos de alegria em meu coração e em minha memória.

Aos amigos que fiz do curso de Agronomia, em especial Ana Clara Brito, Beatriz Trivelato, Samuel Vidal, Nicole Kawakami, Lilybeth Tomita, Matheus Sachetim, Gabriela Boldrini, Isabela Oliveira, Stefani Vicente que dividiram momentos em sala de aula, na figueira e em demais situações, obrigado a todos.

Ao Grupo Nutrição de Plantas, onde tive muito aprendizado além da grande oportunidade de trabalhar com diversas pessoas que tornavam o ambiente de trabalho um lugar acolhedor e bom de estar, em especial a Mariana, Nathalia Mamontow e Marcelo Rinaldi.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, e ao meu coorientador, Guilherme Carlos Fernandes pela oportunidade e por confiarem em mim para conduzir essa pesquisa, e que tanto tiveram paciência em me ajudar.

A todos os professores e funcionários da UNESP de Ilha Solteira, por toda a dedicação na formação profissional de tantas pessoas, em especial o Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira De Moraes pela minha primeira oportunidade de orientação.

À todas as pessoas que estão na minha vida e acompanharam minha jornada e que de alguma forma contribuíram com a mesma, por meio de palavras, orações torcidas e pensamentos positivos, para vocês minha gratidão.

RESUMO

A pesquisa tem demonstrado o potencial das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) e fungos benéficos na melhoria da nutrição e produtividade de culturas. Além disso a adubação orgânica é uma prática crescente, porém em cultivos hidropônicos como alternativa aos fertilizantes minerais, ainda é algo pouco pesquisado no Brasil. Sendo assim, objetivou-se avaliar o impacto da inoculação de microrganismos e de um produto biológico na nutrição e produção da alface americana em sistema hidropônico Nutrient Film Technique (NFT). O experimento foi em delineamento de blocos ao acaso (DBC) com três repetições, cada unidade experimental foi representada por 3 plantas, composto pela inoculação via solução nutritiva no dia do transplântio das mudas de alface. Os tratamentos foram o controle (sem inoculação), *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum* e duas concentrações do produto TPI2, 4,32 mL (Dose recomendada 15 L ha⁻¹) e 5,76 mL (Dose recomendada 20 L ha⁻¹). A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou incremento no acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) na parte aérea das plantas, bem como um maior número de folhas e o aumento na produtividade de massa fresca de alface. Por outro lado, a aplicação de *Trichoderma harzianum* foi menos eficaz devido à sua preferência por meios ácidos, incompatíveis com o pH equilibrado da solução hidropônica. O TPI2 na dose 20 L ha⁻¹ propiciou o menor acúmulo de nitrato nas folhas de alface, o que é bom. Embora os tratamentos com TPI2 tenham produzido resultados satisfatórios, estes foram superados pela inoculação com *P. fluorescens*.

Palavras-chaves: Hidroponia, *Lactuca sativa* L., Adubação orgânica, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*, Nutrient Film Technique, Nutrição de plantas.

ABSTRACT

Research has demonstrated the potential of plant growth-promoting bacteria (PGPB) and beneficial fungi in improving crop nutrition and productivity. Furthermore, organic fertilization is a growing practice, but in hydroponic crops as an alternative to mineral fertilizers, it is still something few researched in Brazil. Therefore, the objective was to evaluate the impact of inoculating microorganisms and a biological product on the nutrition and production of iceberg lettuce in a Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system. The experiment was in a randomized block design with three replications, each experimental unit was represented by 3 plants, consisting of inoculation via nutrient solution on the day of transplanting the lettuce seedlings. The treatments were the control (without inoculation), *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum* and two concentrations of the product TPI2, 4.32 mL (Recommended dose 15 L ha⁻¹) and 5.76 mL (Recommended dose 20 L ha⁻¹). Inoculation with *P. fluorescens* provided an increase in the concentrations of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, S) and micronutrients (Cu, Fe, Mn, Zn) in the plants shoot, as well as a greater number of leaves and increased productivity of fresh lettuce mass. On the other hand, the application of *Trichoderma harzianum* was less effective due to its preference for acidic media, incompatible with the balanced pH of the hydroponic solution. TPI2 at a dose of 20 L ha⁻¹ provided the lowest nitrate accumulation in lettuce leaves, which is good. Although TPI2 treatments produced satisfactory results, these were surpassed by inoculation with *P. fluorescens*.

Keywords: Hydroponics, *Lactuca sativa L.*, Organic fertilization, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*, Nutrient Film Technique, Plant nutrition.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Cultura da alface	11
2.2 Cultivo Hidropônico e sistema NFT	12
2.3 Bactérias e Fungos Promotores de crescimento.....	13
2.3.1 Pseudomonas fluorescens	14
2.3.2 Trichoderma harzianum	14
2.4 Adubação orgânica.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Caracterização experimental	17
3.2 Tratamento e delineamento experimental	18
3.3 Manejo e condução.....	18
3.4 Avaliações	19
3.4.1 Avaliações biométricas.....	19
3.4.2 Avaliações nutricionais.....	19
3.5 Análise estatística.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Variáveis biométricas e ICF	21
4.2 Acúmulo de nutrientes na parte aérea da alface.....	24
5 CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa L.*) é considerada a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no Brasil (Brasil, 2021). São produzidas, aproximadamente, de 1,5 toneladas por ano no país e, essa expressividade se dá pela diversidade de variedades existentes no mercado (Exame, 2021). Além de seu sabor ser agradável ao paladar, é considerada importante à saúde humana pois é uma rica fonte de vitaminas e minerais (Bastos, 2018).

O cultivo de hortaliças em sistemas hidropônicos tem-se difundido em todo o Brasil, principalmente o de alface, este sistema entrou em processo de expansão na década de 90 e desde então melhorias têm sido feitas com o intuito de contornar os problemas relacionados às elevadas doses de fertilizantes. Desse modo, as pesquisas buscam maneiras de aumentar a eficiência na absorção dos nutrientes pelas plantas.

O cultivo protegido dessa hortaliça é um de seus principais métodos de cultivo, devido à possibilidade de controle de condições ambientais, o que proporciona uma maior estabilidade de produção (Bonniecarrère *et al.*, 2000). Em relação ao cultivo hidropônico protegido, o mesmo é muito explorado para cultura da alface e, apesar de ainda ser uma técnica considerada nova e em ascensão, tem o intuito de atender a um mercado cada vez mais exigente em qualidade e se destaca em relação ao cultivo convencional, isso se deve porque notam-se certas vantagens como precocidade e homogeneidade da produção, controle fitossanitário, menor consumo de insumos e maior tolerância das plantas às condições estressantes (Lemos Neto *et al.*, 2020).

A utilização de microrganismos benéficos com a finalidade de promover crescimento das plantas e maior aquisição de nutrientes em hortaliças cultivadas no sistema hidropônico é uma técnica emergente, com resultados promissores (Moreira *et al.*, 2022). As bactérias do gênero *Pseudomonas* tem como capacidade promover o crescimento das plantas de forma direta e indireta através do controle biológico das doenças, produção de metabólitos secundários como antibióticos, fito-hormônios, compostos voláteis, e sideróforos (Sivasakthi; Usharani; Saranraj, 2014). O *Trichoderma* é um microrganismo de fácil propagação e formulados em laboratório, com boa capacidade de armazenamento (Melo, 1996), além disso, algumas cepas de *Trichoderma spp.* têm sido empregadas como solubilizadores de fosfato mediante a

liberação de ácidos orgânicos (Bonini *et al.*, 2020). Os fungos do gênero *Trichoderma* são influenciados por uma variedade de fatores abióticos que afetam seu crescimento e eficácia no biocontrole. Entre esses fatores, destacam-se a temperatura, a umidade e o pH do ambiente, além do tipo de substrato utilizado para seu cultivo. Estudos indicam que a faixa de temperatura ótima para o crescimento de algumas espécies de *Trichoderma* situa-se entre 25-30 °C (Mukherjee; Raghu, 1997). Além disso, pH ácido foi associado a uma maior atividade antagônica desses fungos contra fitopatógenos, como observado por Harman *et al.* (1981). Portanto, é crucial considerar esses fatores ao cultivar *Trichoderma* sp. para garantir sua eficácia como agentes de controle biológico.

A reutilização de águas residuais em sistemas hidropônicos, como os aquapônicos, oferece uma alternativa promissora para reduzir a dependência da adubação química. Essas águas residuais contêm nutrientes, como fósforo (P), nitrogênio (N) e outros macronutrientes necessários para o crescimento das culturas (Magwaza *et al.*, 2020). Ao aproveitar esses recursos, não apenas reduzimos o uso de adubos minerais, mas também mitigamos a degradação dos ecossistemas e conservamos os recursos naturais. Essa abordagem sustentável não só beneficia a produção agrícola, mas também contribui para a preservação do meio ambiente. Apesar da adubação orgânica ser uma prática crescente, em cultivos hidropônicos, como alternativa aos fertilizantes minerais, ainda é algo pouco pesquisado no Brasil.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o impacto da inoculação de microrganismos e de um produto biológico na nutrição e produção da alface americana em sistema hidropônico *Nutrient Film Technique* (NFT).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L) é uma planta herbácea e de porte pequeno pertencente à família das Asteraceae originária do Mediterrâneo, mas trazida ao Brasil pelos portugueses (Maldonado, 2014). Suas folhas são presas a um caule reduzido e carnoso em forma de roseta e variam de tons de verde e roxo (Bastos, 2018). O arranjo de folhas e suas morfologias divide esta hortaliça em seis grupos distintos: repolhuda, repolhuda crespa, solta lisa, solta crespa, mimosa e romana (Santos, 2021).

A alface possui um ciclo de desenvolvimento rápido e apresenta maior produtividade sob dias curtos e temperaturas mais amenas, os quais favorecem a sua fase vegetativa (Filgueira, 2008). Em regiões que atingem temperaturas muito altas, a produção de alface acaba sendo limitada devido às condições ambientais que acarretam pendoamento precoce, perda de folhas e produção do látex que torna a alface amarga, prejudicando sua comercialização (Souza *et al.*, 2018).

Esta hortaliça folhosa é considerada a mais importante do Brasil e do mundo, em termos nacionais, são produzidos anualmente cerca de 1,5 milhões de toneladas de pés de alface (Exame, 2021). O Estado de São Paulo é o maior produtor desta hortaliça, detendo cerca de 32% da produção nacional (Lorenzi, 2015). Sua cadeia produtiva é, majoritariamente, composta por produtores familiares e pequenos que, geralmente, tiram seu sustento desta atividade (Yokoro; Pereira, 2018).

A alface é a espécie mais proeminente no sistema de cultivo NFT (*Nutrient Film Technique*), principalmente devido à sua ampla aceitação pelos consumidores e ao seu ciclo curto de crescimento, alta produtividade e rápida recuperação do investimento (Santos, 2000). Além disso, no contexto do cultivo hidropônico, a alface geralmente apresenta uma qualidade superior e uma significativa redução de doenças e pragas, o que contribui para uma produção mais uniforme (Helbel Júnior *et al.*, 2008).

Esses benefícios combinados tornam a alface uma escolha altamente adequada para sistemas hidropônicos, oferecendo não apenas eficiência econômica, mas também vantagens em termos de qualidade e sustentabilidade. Segundo Oliveira

et al. (2022) o cultivo de alface em sistema hidropônico reduz em dez dias o período de colheita, graças às condições de ambiente dentro da estufa.

2.2 Cultivo Hidropônico e sistema NFT

O termo hidroponia pode ser definido como uma técnica de cultivo de plantas sem a utilização de solo, onde são utilizados outros tipos de substrato, como cascalho, areia, serragem, turfa, vermiculita, argila expandida, espumas sintéticas ou lãs minerais, ao qual é adicionada uma solução nutritiva que fornecerá os nutrientes requeridos para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Luz *et al.*, 2006). Em relação ao fornecimento da solução nutritiva, existem diferentes tipos de classificação, como por exemplo: circulantes, não circulantes e solução estática aerada. No primeiro caso, a solução circula continuamente entre as plantas, retorna a um reservatório e é bombeada novamente para as bancadas, já no sistema não circulante, utiliza-se de um substrato, geralmente areia ou lã mineral, onde a solução é aplicada via gotejamento. No sistema de solução estática aerada, a oxigenação da solução nutritiva é feita através da injeção de ar comprimido em cada recipiente (Martinez, 2011).

A técnica de *Nutrient Film Technique* (NFT), como é comumente conhecida, consiste na circulação da solução nutritiva, de modo que esta flua em forma de filme entre as raízes das plantas, sobre uma superfície com declive entre 2 e 4%. De acordo com a classificação dos sistemas hidropônicos, o sistema NFT é considerado um sistema circulante de duas fases (Bastos, 2018). Por ser um sistema fechado, onde a solução não utilizada pelas plantas retorna ao reservatório e é reutilizada, não gera descartes de solução ao meio ambiente (Hussian *et al.*, 2014).

O cultivo hidropônico possui algumas vantagens tais quais: utilização de pequenas áreas, maior produtividade, maior valor do produto no mercado, diminuição do uso de fertilizantes e de defensivos agrícolas e menor incidência de pragas, além disto, segundo Bezerra Neto (2017) há a possibilidade de produção fora de época e rápido retorno do capital investido. Entretanto, segundo Bastos (2018), este tipo de cultivo possui algumas inconveniências, como alto custo de implantação e de tecnologia, acompanhamento regular do sistema, dependência de energia elétrica e fácil disseminação de patógenos pela solução nutritiva.

A técnica de hidroponia não há a presença do solo, logo, os nutrientes são fornecidos às plantas através de uma solução nutritiva que atenda às exigências

nutricionais da espécie a ser cultivada (Bastos, 2018). Segundo Dalastra *et al.* (2020), a absorção dos nutrientes é proporcional à sua concentração na solução nutritiva, sofrendo influência de fatores como salinidade, oxigenação temperatura e pH da solução e de fatores ambientais como fotoperíodo, intensidade luminosa e umidade relativa do ar.

Com o intuito de promover uma agricultura sustentável e reduzir o uso de fertilizantes minerais, é essencial realizar estudos que identifiquem ferramentas capazes de facilitar a diminuição dos insumos químicos. Nesse contexto, as rizobactérias surgem como uma alternativa viável. Elas podem ser empregadas para fortalecer a resistência a doenças e estimular o crescimento das plantas por meio de mecanismos que envolvem a síntese de enzimas e hormônios. Esses processos contribuem para o desenvolvimento do sistema radicular, além de melhorar a absorção de água e nutrientes pelo vegetal (Bueno *et al.*, 2017). Essa abordagem não só promove uma agricultura mais sustentável, mas também reduz a dependência de fertilizantes minerais, proporcionando benefícios tanto ambientais quanto econômicos.

A crescente atenção está sendo direcionada para a utilização de inoculantes contendo bactérias diazotróficas, as quais promovem o crescimento e aumentam a produtividade das plantas. Essas Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (BPCPs) foram incorporadas tanto em sistemas hidropônicos quanto no campo devido aos efeitos positivos que proporcionam na qualidade e na produtividade das culturas (Lee; Lee, 2015). Após o plantio em sistemas hidropônicos, a microflora microbiana pode se desenvolver rapidamente, aproveitando os exsudatos das plantas, os compostos presentes na solução nutritiva e os materiais vegetais em decomposição como fontes de sustentação (Waechter Kristensen *et al.*, 1996).

2.3 Bactérias e Fungos Promotores de crescimento

Atualmente, há um foco crescente em pesquisas sobre o uso de bactérias na agricultura, especificamente aquelas conhecidas como bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), como os gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum* e *Burkholderia* (Teixeira Filho; Galindo, 2019). Essas bactérias estimulam o crescimento das plantas por meio de diversos mecanismos, como a produção e secreção de fitormônios como AIA, etileno, citocininas e

giberelinas (Tien *et al.*, 1979; Meza *et al.*, 2015), além do ácido abscísico que regula o crescimento das plantas (Cohen *et al.*, 2008) e o óxido nítrico (Fibach -Paldil *et al.*, 2012).

A resposta positiva à inoculação dessas bactérias está sendo explicada pela teoria dos mecanismos múltiplos, que depende da interação entre inoculante, planta e ambiente (Salvo *et al.*, 2018). As BPCPs são bactérias residentes epifíticas e endofíticas, não patogênicas, que promovem o crescimento das plantas tanto diretamente quanto indiretamente, atuando também como agentes de controle biológico de doenças de plantas (Mariano *et al.*, 2004).

A utilização de microrganismos rizosféricos tem sido destacada pela sua contribuição na promoção do crescimento das plantas, aumento da produtividade das culturas, controle e/ou redução de infecções por fitopatógenos, além de mitigar estresses de origem biótica e abiótica (Salvo *et al.*, 2018). Essa abordagem não apenas é econômica e ecológica, mas também sustentável, possibilitando maior eficiência no uso de fertilizantes (García de Salamone, 2011).

2.3.1 *Pseudomonas fluorescens*

As BPCPs, segundo Mariano (2013) agem diretamente no crescimento da planta por meio da produção fitohormônios, enzimas, ácido cianídrico, solubilização de fosfatos, fixação de nitrogênio, mineralização dos nutrientes, consequente aumento da absorção pelas raízes. As BPCP podem promover o aumento da área da raiz da planta o que pode favorecer a absorção de água e nutrientes pela mesma (Silveira, 2008).

Dentre as principais BPCP, incluem-se as *Pseudomonas spp.*, as bactérias deste gênero, por conseguirem contribuir no controle biológico das doenças em vegetais, tornam-se o grupo mais promissor de rizobactérias e, além disso, são capazes de produzir metabólitos secundários como antibióticos compostos voláteis, fitohormônios e sideróforos. A capacidade destas bactérias de promover o crescimento das plantas, está ligado ao fato desses organismos produzirem o AIA e outros compostos importantes (Sivaskthi *et al.*, 2014).

2.3.2 *Trichoderma harzianum*

A introdução do fungo *Trichoderma* não apenas auxilia na supressão de fitopatógenos (Kumar *et al.*, 2021) e na modificação da arquitetura radicular através

do estímulo à sinalização de auxinas, mas também promove um aumento das atividades enzimáticas, da produção de metabólitos secundários e da eficiência na absorção e utilização de nutrientes pelas raízes (Meng *et al.*, 2019).

Além disso, algumas cepas de *Trichoderma* spp. têm sido empregadas como solubilizadores de fosfato mediante a liberação de ácidos orgânicos (Bonini *et al.*, 2020).

A inoculação de microrganismos benéficos representa uma alternativa estratégica para reduzir a necessidade de aplicação de fertilizantes, ao mesmo tempo em que promove o aumento das atividades enzimáticas e a absorção de nutrientes. Embora o *T. harzianum* tenha sido pouco explorado como promotor de crescimento em plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico, seu potencial nesse contexto merece maior investigação.

2.4 Adubação orgânica

O desenvolvimento de alternativas aos fertilizantes minerais na hidroponia é fundamental para integrar essa técnica em uma abordagem sustentável e enfrentar os desafios da agricultura e das mudanças climáticas globais. Uma tendência crescente é o uso de fertilizantes orgânicos líquidos derivados de resíduos orgânicos como substitutos para os fertilizantes minerais, o que está despertando interesse crescente. Esta abordagem alternativa à hidroponia convencional é conhecida como hidroponia orgânica ou "bioponia", enfatizando sua natureza biológica (Shubha *et al.*, 2019).

Além disso, a utilização de resíduos orgânicos ricos em nutrientes e efluentes como fertilizantes em sistemas de bioponia de circuito fechado apresenta-se como uma solução interessante para gerenciar esses materiais de forma sustentável. Nesse contexto, a bioponia desempenha um papel importante como um processo de reciclagem de nutrientes, reduzindo simultaneamente a demanda por fertilizantes minerais sintéticos (Jin *et al.*, 2020).

Os materiais orgânicos provenientes de várias fontes têm sido empregados na formulação de soluções biopônicas, abrangendo desde esterco animal, compostagem e algas até resíduos agro-industriais e domésticos. Esses materiais desempenham um papel crucial ao suprir as exigências das plantas, fornecendo quantidades apropriadas de nutrientes (Atkin; Nichols, 2004).

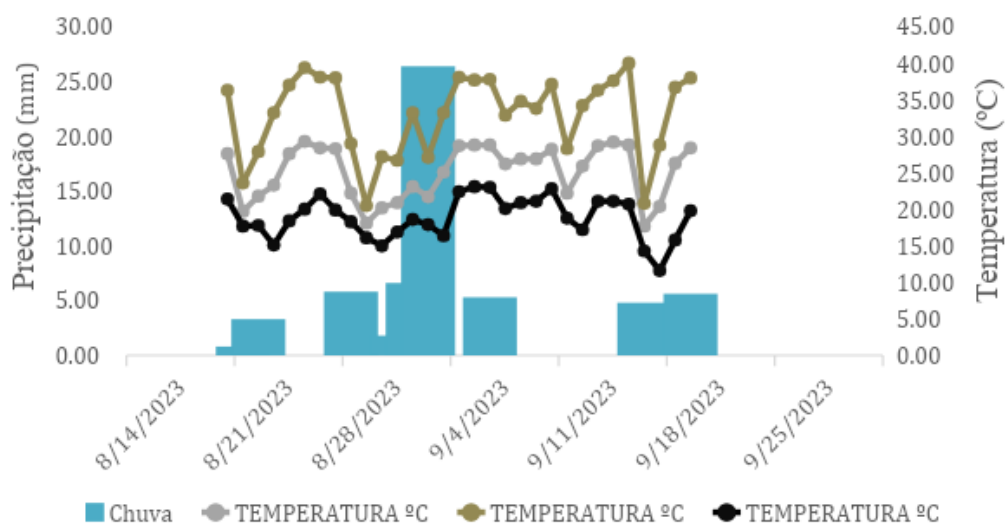
Assim, o cultivo da alface americana em sistema hidropônico, associado a adubação orgânica ou com a utilização de microrganismos promotores de crescimento, se torna uma alternativa sustentável, porém carece de pesquisas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e condução experimental

O experimento foi conduzido em cultivo hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*) sob cultivo protegido com sombreamento de 30%, de 16 de agosto a 17 de setembro de 2023, pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Ilha Solteira – SP, com coordenadas geográficas (20°25'07" S e 51°20'31" O), com altitude de 376 m. Os dados climáticos foram coletados por estação meteorológica automática instalada na universidade (figura 1).

Figura 1 - Temperatura (T_{média}, T_{máxima} e T_{mínima}), precipitação pluvial (mm) durante a condução do experimento.



Fonte: Canal CLIMA da UNESP de Ilha Solteira.

As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de seis metros de comprimento e declividade de 10%. Os canais de cultivo são de perfil de PVC com seção retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamentos das plantas a cada 25 centímetros. Cada bancada contém 6 canais de cultivo espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento individual, e um reservatório de 300 litros, a vazão utilizada foi de 1 L min⁻¹ e o período de exposição da solução nutritiva foi de fluxo contínuo.

Foi utilizada a cultivar alface americana Lucy Brown, a qual possui um ciclo médio de 35 dias. As mudas foram transplantadas para as bancadas com 15 dias, onde permaneceram por 30 dias, até o ponto de colheita da hortaliça.

3.2 Tratamento e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC) com 3 repetições, cada unidade experimental foi representada por 3 plantas, composto pela inoculação via solução nutritiva no dia do transplante das mudas de alface, para os tratamentos 2 e 3, sendo:

- 1) 1ª bancada - controle: sem nenhuma inoculação na solução nutritiva padrão;
- 2) 2ª bancada: inoculação de *Pseudomonas fluorescens* (AMTEC), na dose de 3 mL L⁻¹, dando 900 mL na caixa;
- 3) 3ª bancada: inoculação de *Trichoderma harzianum* (AMTEC), na dose de 2 mL L⁻¹, dando 600 mL na caixa;
- 4) 4ª bancada: CE de 900 + 4,32 mL do produto TPI2 (Dose recomendada 15 L ha⁻¹);
- 5) 5ª bancada: CE de 600 + 5,76 mL do produto TPI2 (Dose recomendada 20 L ha⁻¹).

Nos tratamentos T1, T2 e T3 foi utilizada a solução nutritiva composta pelos fertilizantes concentrados Hidrogood Fert Nacional na dose de (0,666 g L⁻¹) em todas as fases de desenvolvimento da cultura, a qual contém as seguintes concentrações de nutrientes em (%): 10 de N; 9 de P; 28 de K; 4,3 de S; 3,3 de Mg; 0,06 de B; 0,01 de Cu; 1,09 de Fe; 0,05 de Mn; 0,07 de Mo e 0,02 de Zn; utilizando também o Nitrato de Cálcio na dose de (0,495 g L⁻¹) com as seguintes concentrações de nutrientes em (%): 15,5 de N e 26,5 de Ca; também o Hidrogood Fert Ferro EDDHA na dose de (0,030 g L⁻¹) com as seguintes concentração de nutriente em (%): 6 de Fe. Foi realizada a aplicação do Fungicida Ranman na dose de 10 mL no início do desenvolvimento da cultura.

3.3 Manejo e condução

A aferição e correção da condutividade elétrica (CE) e pH foram realizados diariamente no período noturno, entre 18 horas e 19 horas. A CE inicial foi de acordo com cada tratamento pré-estabelecido, sendo as bancadas com T1, T2 e T3 com 1,2 dS m⁻¹ e a bancada com T4 com 0,9 dS m⁻¹ e T5 com 0,6 dS m⁻¹, e o pH foi mantido entre 5,5 e 6,5, para isso foi utilizado ácido sulfúrico diluído quando superior a 6,5, e hidróxido de sódio diluído quando pH inferior a 5,5 (Figura 2).

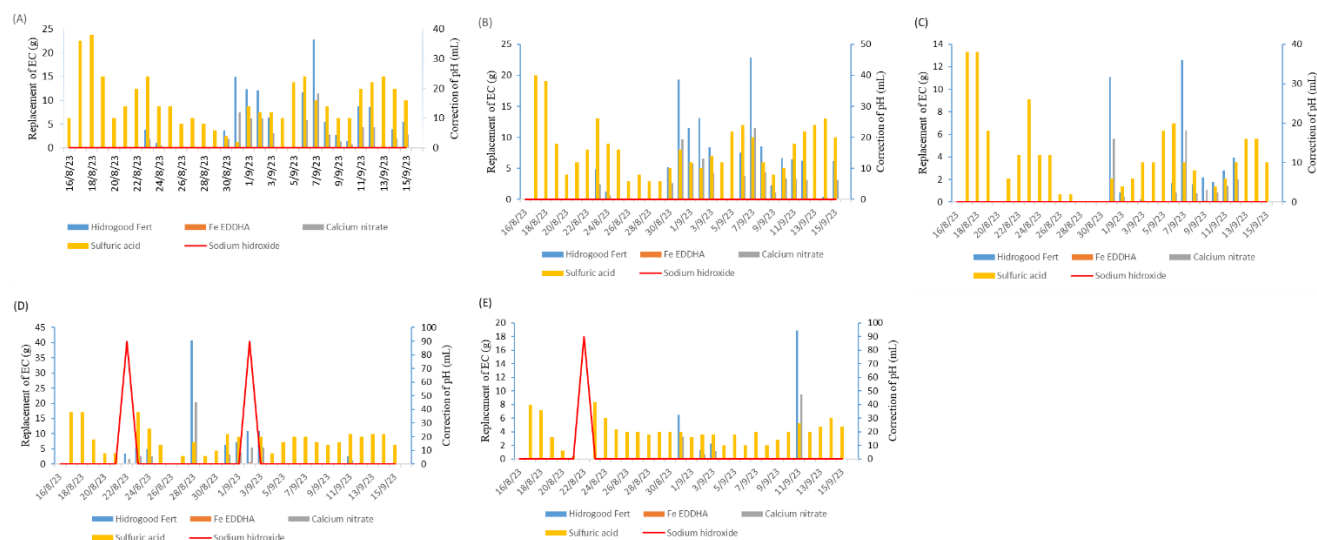


Figura 2 – Correção do pH e reposição condutividade elétrica (CE) em sistema hidropônico NFT no tratamento controle (A), com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* (B) *Trichoderma harzianum* (C), CE de 900 + 4,32 mL do produto TPI2 (D), CE de 600 + 5,76 mL do produto (E) e a elevação da CE ocasionada pela inoculação (F) no período do experimento.

3.4 Avaliações

3.4.1 Avaliações biométricas

As avaliações foram realizadas aos 12, 22 e 32 DAT das mudas de alface, no momento da colheita de cada avaliação foi realizada a coleta da matéria fresca do sistema radicular e da parte aérea, quantificou-se o comprimento da parte aérea e das raízes, e o índice de clorofila foliar (ICF) utilizando clorofilog Falker CFL-1030. Em seguida, o material foi enviado para secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 72 horas, para obtenção da matéria seca do sistema radicular, da parte aérea. Na última coleta (30 DAT), foi obtido a produtividade de massa fresca baseada na população de plantas de 19,5 m⁻², conforme a equação a seguir:

$$Prod = MFF * PP$$

Prod: produtividade de massa fresca (kg m⁻²)

MFF: massa fresca das folhas (kg planta⁻¹)

PP: população de plantas (plantas m⁻²)

3.4.2 Avaliações nutricionais

Após secagem, pesagem e trituração dos materiais vegetais em moinho Wiley, foram determinados segundo a metodologia de (Malavolta *et al.*, 1997), as concentrações de N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, B e Zn e a concentração de nitrato

e amônio de acordo com a metodologia descrita por (Silva, 2009) na parte aérea da alface na avaliação final (30 DAT).

O acúmulo de nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas foi calculado com base nas respectivas na produtividade de massa seca e concentração de nutrientes nas plantas conforme a equação:

$$AC=PMS*CN$$

AC: acúmulo de nutrientes (g ou mg m⁻²)

PMS: produtividade de massa seca (kg m⁻²)

CN: concentração de nutrientes (g ou mg kg⁻¹)

3.5 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando a análise de variância (ANOVA), onde a significância dos quadrados médios foi testada pelo teste F a 5% de probabilidade. As médias correspondentes aos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, considerando um nível de significância de 5%, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis biométricas e ICF

Para a primeira avaliação (12 DAT) não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) para os tratamentos sobre o comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CPR), número de folhas (NF), massa fresca parte aérea (MFPA), massa fresca raiz (MFR), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca raiz (MSR). Houve efeito significativo pra a variável ICF, onde todos os tratamentos, exceto com o *Trichoderma harzianum*, foram superiores estatisticamente quando comparado ao tratamento controle (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Número de folhas (NF); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca da raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSP); Massa seca raiz (MSR) e índice de clorofila foliar (ICF) da alface americana. Ilha Solteira – SP aos 12 dias após o transplântio.

Tratamento	CPA	CR	NF	MFPA	MFR	MSPA	MSR	ICF
	(cm)			(g)			-	
Controle	11,53 a	12,32 a	8,50 a	18,66 a	4,45 a	1,10 a	0,15 a	16,11 b
<i>P. fluorescens</i>	11,55 a	10,81 a	9,11 a	18,73 a	4,81 a	1,13 a	0,19 a	27,16 a
<i>T. harzianum</i>	10,83 a	8,86 a	8,87 a	17,03 a	4,79 a	1,02 a	0,20 a	17,55 b
TPI2 (15L ha ⁻¹)	11,22 a	11,22 a	9,11 a	17,11 a	4,99 a	1,07 a	0,16 a	25,05 a
TPI2 (20L ha ⁻¹)	11,61 a	11,67 a	9,00 a	16,91 a	5,22 a	0,97 a	0,16 a	23,34 a
Teste F								
Média geral	11,35 ^{ns}	10,98 ^{ns}	8,92 ^{ns}	17,96 ^{ns}	4,85 ^{ns}	1,06*	0,17 ^{ns}	23,84**
Erro padrão	0,34	0,64	0,27	0,69	0,27	0,03	0,015	1,9
CV(%)	5,24	10,23	5,30	6,77	9,79	5,11	15,49	8,68

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

O ICF é um indicador importante da saúde e vigor das plantas, pois a clorofila é fundamental para o processo de fotossíntese, que por sua vez está diretamente relacionado com o teor N foliar e à produtividade das culturas. Os valores de ICF variaram entre os tratamentos, com o tratamento *P. fluorescens* apresentando a maior média (27,16) e o controle a menor (16,11). Essa variação sugere que os diferentes

tratamentos aplicados às plantas de alface tiveram impacto na quantidade de clorofila presente nas folhas.

O tratamento com *P. fluorescens* propiciou aumento no ICF em comparação com o controle e outros tratamentos, indicando que esta inoculação pode ter estimulado a produção de clorofila nas folhas de alface, levando em consideração que as plantas deste tratamento possuíam uma maior área foliar comparada com os demais. Por outro lado, o tratamento com *Trichoderma harzianum* propiciou menor ICF em comparação com os outros tratamentos. Isso pode sugerir que a interação com esse inóculo pode ter afetado negativamente a produção de clorofila nas folhas.

Para a segunda avaliação, apenas para a variável ICF não foi observado efeito significativo dos tratamentos. Para CPA, CR, NF, MFPA, MFR, MSPA e MSR houve efeito significativo (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Número de folhas (NF); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca da raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSP); Massa seca raiz (MSR) e ICF da alface americana. Ilha Solteira – SP aos 22 dias após o transplante

Tratamento	CPA	CR	NF	MFPA	MFR	MSPA	MSR	ICF
	(cm)			(g)				-
Controle	18,22 a	22,78 a	12,78 a	93,15 b	23,88 a	4,04 a	0,92 b	25,98 a
<i>P. fluorescens</i>	19,50 a	21,94 a	12,45 a	104,98 a	24,12 a	3,95 a	0,99 b	27,89 a
<i>T. harzianum</i>	13,50 c	10,11 b	10,55 b	37,60 d	19,45 b	2,36 b	1,05 b	29,45 a
TPI2 (15L ha ⁻¹)	17,29 a	21,33 a	12,22 a	78,55 c	28,07 a	3,53 a	1,42 a	24,13 a
TPI2 (20L ha ⁻¹)	15,17 b	18,89 a	11,22 b	69,13 c	19,60 b	3,95 a	1,28 a	22,66 a
Teste F								
Média geral	16,73**	19,03**	11,85*	76,68**	23,02**	3,57**	1,13*	26,02 ^{ns}
Erro padrão	0,50	1,07	0,42	3,18	1,25	0,14	0,09	1,59
CV(%)	5,23	9,74	6,16	7,19	9,45	6,96	14,09	10,62

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

A inoculação com a bactéria promotora de crescimento *Pseudomonas fluorescens* promoveu maiores comprimento e massa fresca da parte aérea, parâmetros que influenciam diretamente no produto final da alface. Para essas variáveis a inoculação com *Trichoderma harzianum* propiciou os menores valores (Tabela 2).

Em todas as variáveis o *Trichoderma harzianum* apresentou uma baixa eficiência, isso devido que o pH da solução era estabilizado diariamente entre 5,5 a 6,5, como ele é um fungo e se desenvolve melhor em meio ácido, acabou provocando um efeito antagônico no desenvolvimento das plantas de alface hidropônica.

O tratamento TPI2 (15 L ha⁻¹) na segunda avaliação, de um modo geral apresentou resultados menores do que o tratamento controle, entretanto, estatisticamente foi inferior apenas na MFPA.

Para as variáveis CPA, NF e MFPA, o tratamento TPI2 (20 L ha⁻¹) foi estatisticamente inferior ao controle, esses parâmetros são de grande importância para a colheita final da alface, demonstrando que uma diminuição dos fertilizantes minerais, ocasionaram um menor crescimento das plantas de alface.

Na ocasião da colheita da alface (32 DAT), para todas as variáveis houve efeito significativo dos tratamentos, exceto para a massa seca de raiz (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores de comprimento de parte aérea (CPA); comprimento de raiz (CR); Número de folhas (NF); Massa fresca da parte aérea (MFPA); Massa fresca da raiz (MFR); Massa seca parte aérea (MSP); Massa seca raiz (MSR), produtividade de massa fresca e ICF da alface americana. Ilha Solteira –SP aos 32 dias após o transplântio

Tratamento	CPA	CR	NF	MFPA	MFR	MSPA	MSR	Prod.	ICF
	(cm)				(g)			(kg m ⁻²)	-
Controle	23,67 a	31,33 a	17,00 a	219,00 a	44,61 a	7,28 a	1,71 a	4,27 a	28,39 a
<i>P. fluorescens</i>	23,22 a	27,77 b	17,56 a	232,00 a	40,20 a	7,70 a	1,66 a	4,53 a	21,70 b
<i>T. harzianum</i>	16,55 d	6,11 e	13,56 b	62,78 d	38,71 a	3,79 c	2,08 a	1,23 d	23,03 b
TPI2 (15L ha ⁻¹)	21,89 b	23,83 c	16,77 a	177,00 b	38,75 a	6,42 b	1,29 a	3,47 b	16,87 c
TPI2 (20L ha ⁻¹)	17,89 c	20,67 d	14,00 b	90,49 c	27,87 b	6,23 b	1,83 a	1,76 c	17,95 c
Teste F									
Média geral	20,64**	21,95**	15,77**	156**	38,02**	6,28**	1,71 ^{ns}	3,05**	21,58**
Erro padrão	0,33	0,77	0,65	6,19	1,80	0,17	0,14	0,11	1,26
CV(%)	2,78	6,12	7,20	6,85	8,20	4,90	14,97	6,80	10,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. * e ** significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.

Corroborando com os resultados da segunda avaliação, a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* promoveu maiores CPA, NF, MFPA e MSPA, proporcionando assim, a maior produtividade de massa fresca de alface, quando comparado aos outros tratamentos, só não diferindo estatisticamente com o controle. A inoculação com *P. fluorescens* favoreceu o aumento do acúmulo de massa fresca

e seca da parte aérea das plantas, devido ao aumento da nutrição de plantas e da eficiência fotossintética, assimilação de carbono e aquisição de nutrientes pelas raízes (Sandini *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2019). O aumento da assimilação líquida de CO₂ no processo fotossintético está diretamente ligado ao crescimento das folhas. O acúmulo de carbono nessas folhas desencadeia a formação de novas folhas e o consequente aumento da massa das plantas, resultando em uma maior produtividade, conforme observado por Fonseca *et al.* (2022) é observado para a produtividade, em que o tratamento com *P. fluorescens* obteve o melhor resultado.

De maneira geral, o tratamento controle e o tratamento com inoculação com *Pseudomonas fluorescens* proporcionaram os melhores resultados. No tratamento com *Trichoderma harzianum*, as plantas não se desenvolveram bem e apresentou as piores médias para as variáveis biométricas, o que pode ser correlacionado pelo fato de ser um fungo e preferir meios onde o pH é mais ácido, como dito anteriormente, se sobressaindo melhor apenas na massa seca de raiz, visto que as plantas inoculadas com este fungo apresentaram raízes com maiores calibres, mas de menores comprimentos.

Os tratamentos com TP 12, apresentaram resultados inferiores ao controle para as variáveis de maior importância no momento da colheita, sendo estas CPA, MFP, produtividade de massa fresca e ICF, demonstrando um menor desenvolvimento da parte aérea da cultura em função da menor nutrição das plantas.

4.2 Acúmulo de nutrientes na parte aérea da alface

Para o acúmulo de macronutrientes, nitrato e amônio na parte aérea da alface americana, houve efeito significativo para todos os nutrientes (Tabela 4). Para o acúmulo dos macronutrientes, os tratamentos com *Trichoderma harzianum* e TP12 com a recomendação de 20 L ha⁻¹, apresentaram as piores médias quando comparados aos demais tratamentos.

O tratamento controle e com *Pseudomonas fluorescens* promoveram os maiores acúmulos de macronutrientes na parte aérea da alface, porém o controle foi superior nos acúmulos de Ca e Mg, exceto para o acúmulo de NO₃⁻, em que o tratamento com *P. fluorescens* foi superior. O TPI2 (15 L ha⁻¹) proporcionou um dos maiores acúmulos de N na laface, sem diferir do controle e da inoculação com *Pseudomonas fluorescens*.

Tabela 4 - Acúmulo de macronutrientes, nitrato e amônio na parte aérea da alface americana. Ilha Solteira- SP.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺	
							(mg m ⁻²)	
Controle	4,99 a	1,01 a	7,34 a	1,78 a	0,62 a	0,30 a	371,00 b	18,59 b
<i>P. fluorescens</i>	4,71 a	0,97 a	6,67 a	1,54 b	0,43 b	0,29 a	437,00 a	27,20 a
<i>T.harzianum</i>	2,26 b	0,30 c	2,50 c	0,73 d	0,23 c	0,10 c	89,74 d	13,01 b
TPI2 (15L ha ⁻¹)	4,39 a	0,73 b	4,91 b	1,28 b	0,47 b	0,20 b	150,00 c	19,28 b
TPI2 (20L ha ⁻¹)	2,14 b	0,34 c	2,81 c	0,71 c	0,27 c	0,12 c	21,16 e	18,64 b
Teste F								
Média geral	3,70**	0,67**	4,85**	1,23**	0,40**	0,20**	214**	19,41*
Erro padrão	0,13	0,01	0,33	0,06	0,04	0,01	12,66	2,12
CV(%)	6,17	5,10	11,81	8,78	17,91	9,74	10,25	18,93

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.

A utilização de *Pseudomonas spp.* aumenta a eficiência fotossintética e a produtividade de alface em sistemas hidropônicos (Corrêa *et al.*, 2010). Os principais mecanismos responsáveis pela maior absorção de nitrogênio promovida pelo *P. fluorescens* incluem o aumento do crescimento radicular, que amplia a exploração do solo pelas raízes, a promoção do crescimento pela produção aumentada de compostos secundários e fitormônios, e a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que intensifica a atividade do metabolismo do nitrogênio e incrementa a produtividade por meio do aumento do acúmulo de carbono (Pankiewicz *et al.*, 2015).

Para o acúmulo de micronutrientes na parte aérea da alface americana, houve efeito significativo para B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 5). Verificou-se o mesmo padrão que nos acúmulos de macronutrientes, em que o *Trichoderma harzianum* apresentou os menores acúmulos para todos os micronutrientes, isso devido ao baixo desenvolvimento da parte aérea pelo fato da má adaptação do inóculo na solução nutritiva.

O tratamento controle e inoculação com *Pseudomonas fluorescens* propiciaram maiores acúmulos de micronutrientes na parte aérea da alface, exceto para o acúmulo de Boro e sendo que apenas para o Cobre e Zinco, estes não

diferiram estatisticamente do tratamento TPI2 com recomendação de 15 L ha⁻¹. Enquanto, o tratamento TPI2 com recomendação de 20 L ha⁻¹, apresentou resultados inferiores aos demais tratamentos, sendo superior apenas ao tratamento com *Trichoderma harzianum*.

Tabela 5 - Acúmulo de micronutrientes na parte aérea da alface americana. Ilha Solteira-SP.

Tratamento	B	Cu	Fe (mg m ⁻²)	Mn	Zn
Controle	9,13 a	3,69 a	60,87 a	12,40 a	16,64 a
<i>P. fluorescens</i>	6,55 b	3,11 a	63,82 a	12,96 a	14,87 a
<i>T. harzianum</i>	2,60 d	0,77 b	17,12 d	3,97 c	5,54 c
TPI2 (15 L ha ⁻¹)	4,09 c	4,82 a	44,09 b	7,56 b	13,49 a
TPI2 (20 L ha ⁻¹)	2,60 d	2,68 a	26,08 c	5,39 c	8,22 b
Teste F					
Média geral	4,99**	3,01**	42,40**	8,445**	11,75**
Erro padrão	0,12	0,51	2,55	0,62	0,69
CV(%)	4,42	29,43	10,44	12,80	10,18

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

A inoculação de *Pseudomonas fluorescens* mostrou-se benéfica para a nutrição, crescimento e produtividade da alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT. Essas características são diretamente relevantes para a comercialização da alface, uma vez que uma maior quantidade de folhas e uma área foliar expandida tornam o produto mais atrativo para o mercado.

Por outro lado, a aplicação de *Trichoderma harzianum* na solução nutritiva teve um efeito prejudicial no desenvolvimento e na nutrição das plantas de alface, devido à sua preferência por ambientes ácidos, o que não condiz com o pH equilibrado exigido pela solução hidropônica.

No que diz respeito ao TPI2 (Terra Preta de Índio) na dose de 20 L ha⁻¹ observou-se que essa aplicação resultou no menor acúmulo de nitrato nas folhas de alface. Isso é positivo, pois altas concentrações de nitrato podem ser tóxicas para o organismo humano, além de conferir um sabor amargo às folhas da hortaliça, prejudicando sua qualidade e aceitação no mercado.

Embora os tratamentos com o produto biológico TPI2 tenham apresentado resultados satisfatórios, estes ainda foram superados pelo controle com adubação mineral e pela maior eficácia de *P. fluorescens*. Em futuras pesquisas, recomenda-se testar o TPI2 em doses mais elevadas para avaliar possíveis respostas diferenciadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKIN, K.; NICHOLS, M. Organic Hydroponics. **Acta Hort.** 2004, 648, 121–127.

BASTOS, A. L. **Eficiência da produção hidropônica das cultivares de alface fertilizadas com diferentes doses de silício**. 2018. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2018

BONNECARRÈRE, R. A. G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O. S.; SCHIMIDT, D. Desempenho de cultivares de alface em hidroponia no inverno. **Horticultura Brasileira**, v.18, n.2, p.289-291, 2000.

BUENO, A. C. S. O.; CASTRO, G. L. S.; SILVA JUNIOR, D. D.; PINHEIRO, H. A.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in leaf scald- infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, v.66, n.9, p.1487-1495, 2017.

CARDOSO, A. L.; RÊGO, M. C. F.; MATOS, G. S. B.; BATISTA, T. F. V.; SILVA, G. B. Physiology and nutritional contents of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants induced by *Pseudomonas fluorescens*. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.9, p.15538-15556, 2019.

COHEN, A.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. Azospirillum brasilense Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in Arabidopsis plants. **Plant Growth Regulations**, v.54, p.97-103, 2008.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtilis* GB03 em alface hidropônica. **Summa Phytopathologica**, v.36, p.275-281, 2010.

FIBACH-PALDI, S.; BURDMAN, S.; OKON, Y. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**. v.326, p.99-108, 2012.

FONSECA, M. D. C. D.; BOSSOLANI, J. W.; DE OLIVEIRA, S. L.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; SCUDELETTI, D.; DE OLIVEIRA, E. F.; CRUSCIOL, C. A. C. *Bacillus subtilis* Inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress. **Microorganisms**, v.10, a.809, 2022

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-18, 2016.

GARCÍA DE SALAMONE, I. E. Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. **Revista Argentina Microbiología**, v.43, p.1-3, 2011.

Harman, G.E.; Chet, I.; Baker, R. Factors Affecting *Trichoderma hamatum* Applied to Seeds as a Biocontrol Agent. **Am. Phytopathol. Soc.**, v.71, p.569-572, 1981.

HELBEL JÚNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, p.1142-1147, 2008.

JIN, E.; CAO, L.; XIANG, S.; ZHOU, W.; RUAN, R.; LIU, Y. Feasibility of using pretreated swine wastewater for production of water spinach (*Ipomoea aquatic* Forsk.) in a hydroponic system. **Agric. Water Manag.** 2020, 228, 105856.

KUMAR, A.; CHADHA, S.; RATH, D. CRISPR-Cas9 system for functional genomics of filamentous fungi: applications and challenges. In: SHARMA, V. K.; SHAH, M. P.; PARMAR, S.; KUMAR, A. Fungi bio-prospects in sustainable agriculture, environment and nanotechnology. 3. ed. Cambridge: **Academic Press**, 2021. p. 541-576.

LEE, S.; LEE, J. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. **Scientia Horticulturae**, v.195, p.206–215, 2015.

LEMOS NETO, H. S.; GUIMARÃES, M. A.; SAMPAIO, I. M. G.; RABELO, J. S.; VIANA, C. S.; MESQUITA, R. O. Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce? **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.1, p.71-77, 2020.

MAGWAZA, S. T., MAGWAZA, L. S., ODINDO, A. O., MDITSHWA, A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. **Science of The Total**

Environment, 698, 134154. SANTOS, O. Hidroponia da alface. Santa Maria: UFSM, 2000. 107p

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**. v.1, p.89- 111, 2004.

MELO, I.S. de. *Trichoderma* e *Gliocladium* como bioprotetores de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.4, p.261-295, 1996.

MENG, X.; MIAO, Y.; LIU, Q.; MA, L.; GUO, K.; LIU, D.; RAN, W.; SHEN, Q. TgSWO from *Trichoderma guizhouense* NJAU4742 promotes growth in cucumber plants by modifying the root morphology and the cell wall architecture. **Microbial Cell Factories**, v. 18, e148, 2019.

MEZA, B.; BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. Involvement of indole-3-acetic acid produced by *Azospirillum brasilense* in accumulating intracellular ammonium in *Chlorella vulgaris*. **Research of Microbiology**, v.166, p.72-83, 2015

MOREIRA, V. D. A.; OLIVEIRA, C. E. D. S.; JALAL, A.; GATO, I. M. B.; OLIVEIRA, T. J. S. S.; BOLETA, G. H. M.; GIOLO, V. M.; VITÓRIA, L. S.; TAMBURI, K. V.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation with *Trichoderma harzianum* and *Azospirillum brasilense* increases nutrition and yield of hydroponic lettuce. **Archives of Microbiology**, v. 204, e440, 2022.

MUKHERJEE, P.K.; RAGHU, K. Effect of temperature on antagonistic and biocontrol potencial of *Trichoderma sp.* on *Sclerotium rolfsii*. **Mycopathologia**, v.139, p.151- 155, 1997.

PANKIEVICZ, V. C. S.; AMARAL, F. P.; SANTOS, K. F. D. N.; AGTUCA, B.; XU, Y.; SCHUELLER, M. J.; ARISI, A. C. M.; STEFFENS, M. B. R.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O.; STACEY, G.; FERRIERI, R. A. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **Plant Journal**. v.81, p.907-919, 2015.

SALVO, L. P.; FERRANDO, L.; FERNANDÉZ-SCAVINO, A.; SALAMONE, I. E. G. Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant and Soil**, v.424, p.405-417, 2018.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; CRUZ, S. P. D.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.22, p.1369–1375, 2019.

SHUBHA, K.; MUKHERJEE, A.; DUBEY, A.; KOLEY, T.K. Bioponics—A New Way to Grow Soilless Vegetable Cultivation. **Agric. Food** 2019, 1.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 16, n. 9, p. 1265-1277, 2014.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, n.5, p.1016-1024, 1979.

WAECHTER-KRISTENSEN, B.; SUNDIN, P.; GERTSSON, U.E.; HULTBERG, M.; KHALIL, S.; JENSÉN, P.; BERKELMANN-LOEHNERTZ, B.; WOHANKA, W. Management of microbial factors in the rhizosphere and nutrient solution of hydroponically grown tomato. **Acta Horticulturae**, v.450, p.335–342, 1996.