UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

LETÍCIA SCHENAIDE VITÓRIA

INOCULAÇÃO DE RIZOBACTÉRIA EM SISTEMA HIDROPÔNICO NA NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ALFACE AMERICANA

Ilha Solteira
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

LETÍCIA SCHENAIDE VITÓRIA

INOCULAÇÃO DE RIZOBACTÉRIA EM SISTEMA HIDROPÔNICO NA NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ALFACE AMERICANA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agronômica.

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Co-orientador: Carlos Eduardo da Silva Oliveira

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

V845i

Vitória, Letícia Schenaide.
Inoculação de rizobactéria em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana / Letícia Schenaide Vitória. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
34 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Co-orientador: Carlos Eduardo da Silva Oliveira
Inclui bibliografia

1. *Lactuca sativa*. 2. *Azospirillum brasilense*. 3. Absorção de nutrientes. 4. Bactérias promotoras do crescimento de plantas. 5. Hidroponia.

Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

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: Inoculação de Rizobactéria em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana

ALUNO: *Letícia Schenaide Vitória* RA: 182054179

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora com Nota: 10

Comissão Examinadora:

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

Natasha Mirella I. de Godoi
Me. Natasha Mirella Inhã Godoi

Guilherme Carlos Fernandes
Dr. Guilherme Carlos Fernandes

Letícia Schenaide Vitória
Letícia Schenaide Vitória

Ilha Solteira, 15 de dezembro de 2023.

Dedico este trabalho ao meu pai e ao meu avô, minhas estrelinhas que estarão para sempre em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, em especial minha irmã Beatriz, que me deu forças e suporte nos meus dias mais difíceis, que foi lar e inspiração para toda minha trajetória dentro e fora da universidade, ao meu irmãozinho Malik que me arrancou as melhores risadas nos meus piores e melhores dias, aos meus avós que me deram todo amor e acolhimento que eu precisei, aos meus pais, por proporcionarem condições para que eu pudesse sempre correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus professores, desde professores da escola até a graduação, que me ensinaram não somente ensinamentos para a minha formação, mas também contribuíram com o meu crescimento como indivíduo. Em especial, gostaria de agradecer aos meus orientadores da graduação: Marcelinho e Regininha, obrigada por me adotarem como filha, me incentivarem nos estudos, me darem conselhos valiosos e ensinamentos que jamais esquecerei.

Agradeço também à toda equipe do Grupo de Nutrição de Plantas, em especial ao Carlos Eduardo, Guilherme Carlos, Thaissa Julyanne, Isabela Gato, Bruno Horschut e "Marcelão", pela paciência com as minhas milhares de dúvidas e pela contribuição com o meu crescimento.

Aos meus amigos e colegas de graduação, que tornaram a faculdade mais leve e feliz, que foram meu ponto de paz e refúgio, que me mostraram o que é ser uma "famIlha". Em especial, agradeço à Ala 2 que me acolheu durante 5 anos, à República Bola Gato que foi meu lar e onde pude morar com mulheres que me inspiram, à República Casa da Mãe Joana que me acolheu como moradora e aos amigos que carregarei no coração para sempre: Isabela Oliveira, Giovanna Carvalho, Larissa Carli, Leonardo Santini e Luiz Silvério. Agradeço também todos aqueles que passaram pela minha vida e que me ensinaram tanto, mas que infelizmente já não fazem mais parte do meu convívio. À Angélica e sua família, minha irmã de alma, que sempre acreditou em mim, me incentivou, me apoiou e me acolheu como parte da sua família e que vibra por todas minhas conquistas. Vê-los vencer na vida e conquistar seus sonhos, também faz parte do meu sonho.

"Por último, mas não menos importante, quero agradecer à mim por: acreditar em mim, por fazer todo o trabalho duro, por nunca desistir, por sempre ser um doador e tentar dar mais do que eu recebo, eu quero me agradecer por tentar fazer mais certo do que errado e por ser eu em todos os momentos"

RESUMO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* tem sido relatada como benéfica para a melhoria da nutrição, fisiologia e produtividade das plantas cultivadas, porém são raras pesquisas que avaliam esta bactéria inoculada em solução nutritiva. Neste sentido, objetivou-se verificar o efeito de doses de *A. brasilense* via solução nutritiva sobre a produção, fisiologia e nutrição de plantas de alface hidropônica. A pesquisa foi realizada em cultivo protegido em Ilha Solteira, Brasil, em sistema hidropônico Nutrient Film Technique (NFT), realizado em blocos ao acaso com quatro repetições, os tratamentos foram doses de inoculante com *A. brasilense* (0, 8, 16, 32 e 64 ml 100 L^{-1}). A inoculação com *A. brasilense* na dose ideal recomendada proporcionou maior massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, número de folhas e produtividade de massa fresca das folhas. Além de proporcionar aumento do acúmulo de amônio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês e zinco na parte aérea e raízes, com exceção do acúmulo de Cálcio das raízes. Houve menor acúmulo de nitrato na parte aérea das plantas de alface com o aumento das doses de *A. brasilense*. A inoculação na dose 44 ml 100 L^{-1} com *A. brasilense* melhora os componentes produtivos e nutricionais de alface americana cultivados em sistema hidropônico. A inoculação com *A. brasilense* favoreceu a biofortificação agronômica das folhas com os micronutrientes e reduziu a concentração de nitrato foliar.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*; *Azospirillum brasilense;* absorção de nutrientes; bactérias promotoras do crescimento de plantas; hidroponia.

ABSTRACT

Inoculation with *Azospirillum brasilense* has been reported to be beneficial for the improvement of nutrition, physiology, and productivity of cultivated plants, although there are few studies evaluating this bacterium inoculated in nutrient solution. In this sense, the objective was to verify the effect of *A. brasilense* doses via nutrient solution on the production, physiology, and nutrition of hydroponically grown lettuce plants. The research was conducted in a protected cultivation in Ilha Solteira, Brazil, using the Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system, arranged in randomized blocks with four replications. The treatments consisted of doses of *A. brasilense* inoculant (0, 8, 16, 32, and 64 ml 100 L^{-1}). Inoculation with *A. brasilense* at the recommended optimal dose resulted in higher fresh and dry mass of both the aerial part and roots, leaf number, and fresh leaf mass productivity. Additionally, it led to increased accumulation of ammonium, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, boron, iron, manganese, and zinc in the aerial part and roots, except for calcium accumulation in the roots. There was a lower nitrate accumulation in the aerial part of lettuce plants with increasing doses of *A. brasilense*. Inoculation at the dose of 44 ml 100 L^{-1} with *A. brasilense* improves the productive and nutritional components of American lettuce cultivated in a hydroponic system. Inoculation with *A. brasilense* favored agronomic leaf biofortification with micronutrients and reduced foliar nitrate concentration.

Keywords: Lactuca sativa; *Azospirillum brasilense*; nutrient absorption; plant growth-promoting bacteria; hydroponics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **8**
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **9**
2.1. Técnica do fluxo laminar de nutriente (NFT) no cultivo da alface 9
2.2 Efeito da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas sobre hortaliças 9
2.3. Rizobactérias melhoram a absorção de nutrientes pelas plantas 10
2.4. Utilização de rizobactérias para aumentar os teores de Zn e Fe foliar e reduzir o teor de Nitrato foliar 11
3 MATERIAL E MÉTODOS **13**
3. 1. Local 13
3.2. Tratamentos, delineamento experimental e execução do experimento 13
3.3. Avaliações biométricas, nutricionais e de produtividade 16
3.4. Análise estatística 16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **17**
5 CONCLUSÕES **26**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **28**

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o levantamento do Cenário Hortifruti Brasil (2019), quase 50% da área dedicada à produção de folhosas no Brasil é ocupada pela alface (*Lactuca sativa L.)*. Além de ser a folhosa mais produzida, é também considerada a folhosa mais consumida no Brasil, devido a sua grande adaptação às condições climáticas, apresentar ciclo curto, facilidade de aquisição e por ter baixo custo de produção (MEDEIROS et al., 2007; SILVA et al*.,* 2011). A alface movimenta cerca de 8 bilhões de reais apenas no varejo, com uma produção de mais de 1,5 milhão de toneladas ao ano, segundo dados do Cenário Hortifruti Brasil (2019).

A alface é uma cultura que é afetada por diversas doenças, principalmente em ambientes quentes e úmidos, que correspondem a maioria das regiões produtoras de alface no Brasil durante o verão (ZAMBOLIM, 2018). Faz-se então o uso de controle químico, visando controlar a infestação de doenças e pragas na plantação, contudo, devido ao curto ciclo da alface, resíduos dos defensivos químicos podem ser encontrados na alface que será comercializada, o que pode ocasionar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (MORENO et al., 2013). Diante dessa situação, e principalmente do aumento da preocupação da população com uma produção agrícola sustentável, surge a hidroponia, como uma forma de atender as demandas de produção sem o alto uso de defensivos agrícolas. Este método não apenas reduz o uso de defensivos agrícolas, mas também permite o fornecimento eficiente de nutrientes, ajustados às necessidades específicas da cultura (LAURETT et al., 2017).

Azospirillum é um gênero de bactérias gram negativas, não fermentativas, microaerofílicas e fixadoras de nitrogênio da família Rhodospirillaceae. Uma vez que é o gênero mais estudado de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) no mundo e é amplamente comercializada na América Latina, há uma produção científica muito grande tendo o *Azospirillum* como objeto de estudo (CASSÁN et al, 2020). Entretanto, tem-se poucos estudos sobre a inoculação via solução nutritiva para produção de alface.

Um dos principais resultados da inoculação com *Azospirillum* é a considerável alteração na arquitetura da raiz da planta, isso ocorre devido à produção de fitohormônios bacterianos e, mais especificamente, pela biossíntese de ácido indol-3-acético (IAA) (CASSÁN et al. 2014). A inoculação com *A. brasilense* é capaz de reduzir nitrato e aumentar o acúmulo de amônio na parte aérea e raiz, além de ser capaz de aumentar o crescimento da planta, sua produtividade e o acúmulo de nutrientes em plantas de alface e rúcula (OLIVEIRA et al., 2023).

O estudo teve como objetivo verificar os efeitos benéficos de doses de *A. brasilense* via solução nutritiva sobre a nutrição e o crescimento de alface americana cultivada em sistema hidropônico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Técnica do fluxo laminar de nutriente (NFT) no cultivo da alface

O sistema hidropônico consiste em um sistema onde a planta é cultivada sem o solo, mas em uma solução nutritiva. A solução nutritiva é constituída por macro e micronutrientes que são necessários para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Corrêa, 2009). O cultivo hidropônico tem crescido nos últimos anos, principalmente no setor das hortaliças, com destaque para a alface, hortaliça mais produzida em sistemas hidropônicos (Laurett, 2017). Segundo Laurett (2017): "Na hidroponia é possível fornecer os nutrientes minerais de forma mais eficiente e de acordo com as exigências de cada cultura."

Existem diversos tipos de sistemas hidropônicos, sendo que em 90% dos cultivos hidropônicos de alface são realizados usando o sistema NFT, chamado também de "Nutrient Film Technique" ou em português "Técnica do fluxo laminar de nutriente" (Ohse *et al,. .,* 2001). As suas vantagens de praticidade e eficácia na produção são fatores que contribuem para o crescimento do uso desse tipo de sistema (Cometti, 2003). Além de fatores como a sua maior durabilidade, facilidade de limpeza (OHSE *et al.,* 2001).

O sistema NFT foi criado por Allen Cooper em 1965 e consiste em uma estrutura, geralmente feita de tubo PVC, com solução nutritiva, onde as raízes das plantas ficam submersas (Beninni, 2005).

O cultivo hidropônico representa inúmeras vantagens, tanto para o consumidor, para o produtor, como para o meio ambiente, pois a qualidade do produto aumenta, seu ciclo diminui e há menor gasto de água e insumos agrícolas (Paulus, 2015). Malavolta (2003) comparou cinco tipos de cultivo, sendo eles: biodinâmico, hidropônico, orgânico, organomineral e tradicional. Ele constatou que as alfaces cultivadas em hidroponia apresentaram os maiores teores de micronutrientes. Silva *et al.* (2011) constataram que as alfaces cultivadas em sistemas hidropônicos apresentaram maior teor de nitrato e menor concentração de ácido ascórbico e sólidos solúveis quando comparado com a alface orgânica ou convencional.

2.2 Efeito da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas sobre hortaliças

Algumas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, como as bactérias do gênero Rhizobium e Azospirillum, além de promover o crescimento vegetativo das plantas (PEREIRA, 2021). Estas bactérias colonizam as raízes das plantas, em uma região denominada rizosfera, uma região do solo que é bastante influenciada pelas raízes das plantas e tem máxima atividade microbiana (VEJAN, 2016). Dentre as rizobactérias mais conhecidas, destacam-se as do gênero: *Azospirillum* e *Bacillus* (LIMA *et al*,. 2017).

Toledo (2021) observou que os tratamentos com *Azospirillum brasilense* impactaram no desenvolvimento e crescimento da parte aérea de plantas de alface do tipo crespa em cultivo em ambiente aberto, apesar de ter apresentado um menor desenvolvimento radicular se comparado com os tratamentos com *Bacillus subtilis*. Lima *et al* (2017) constatou que a *A. brasilense* aumentou a matéria seca da parte aérea de plantas de alface que foram conduzidas em casa de vegetação, além de ter promovido o aumento da germinação e crescimento de raízes, quando comparada com o tratamento testemunha. Segundo os dados da pesquisa, a alface inoculada com *A. brasilense* teve um aumento médio de 9,86% na altura da planta.

As rizobactérias promotoras de crescimento produzem alguns compostos indólicos, como as citocininas e giberelinas, e tem como principal produto o ácido 3-indolacético (AIA), chamado também de auxina (RADWAN, 2004). O aumento nos níveis de Ácido Indolacético (AIA) na zona radicular, induz o aumento no número de raízes secundárias, estas raízes desempenham um papel crucial na amplificação da absorção de água e nutrientes pelas plantas (KUDOYAROVA, 2019). Santos (2010) verificou que a inoculação de rizobactérias em alface além de produzir auxina, foi capaz de solubilizar fosfato de cálcio e produzir sideróforos. Oliveira (2023) constatou que a dose de 44 mL 100 L^{-1} do inoculante *Azospirillum brasilense* resultou em um aumento significativo no rendimento de folhas frescas de alface. A inoculação de *Azospirillum brasilense*, ao proporcionar uma maior eficiência na assimilação de nitrogênio, influencia positivamente o crescimento radicular, ampliando a exploração do solo pelas raízes e estimulando, consequentemente, o desenvolvimento das plantas (PANKIEVICZ, 2015).

2.3. Rizobactérias melhoram a absorção de nutrientes pelas plantas

As rizobactérias produzem ácido 3-indol acético, ou AIA, hormônio que tem como função a regulação do crescimento vegetal, e é responsável pelo aumento do comprimento das raízes e do número de pelos radiculares, como no crescimento da parte aérea das plantas, o que faz com que ocorra um aumento na área de exploração das raízes e por consequência, a absorção de nutrientes e água pela planta (FLORENTINO, 2017). O *Azospirillum brasiliense* aumenta o desenvolvimento das raízes das plantas, fazendo com que a planta possa explorar mais o solo e aproveitar melhor os nutrientes e água disponíveis (PEREIRA, 2021).

As rizobactérias também são capazes de sintetizar sideróforos, que por sua vez, realizam a solubilização de fosfatos, o que leva a disponibilização de nutrientes adsorvidos no solo. Desta forma, o uso de rizobactérias têm potencial de proporcionar a diminuição do uso de fertilizantes ou insumos químicos (SILVEIRA, 2018). Ademais, elas influenciam também na ciclagem de nutrientes e na fixação biológica de nitrogênio (PEREIRA, 2021). Neste sentido, a inoculação com *A. brasilense* tem sido associada a diversos mecanismos, como aumento a produção de fitohormônios, sideróforos e compostos secundários, além de realizar a fixação biológica de

nitrogênio e promover a eficiência no uso de nutrientes, que promovem crescimento das plantas (MEZA et al., 2015). Também foi relatado que a inoculação com cepas AbV5 e AbV6 de *A. brasilense* via pulverização foliar (na dose de 1 mL L^{-1}) aumentaram a massa fresca da parte aérea e crescimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2022). Além disso, a inoculação foliar com cepas AbV5 e AbV6 de *A. brasilense* proporcionou maior produtividade foliar e acúmulo de N, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe na parte aérea da alface hidropônica, produzindo plantas com maior qualidade (MOREIRA et al., 2022).

A inoculação via solução nutritiva foi relatada anteriormente em sistema hidropônico com alface e rúcula. Efeito comparativo da inoculação via foliar e solução nutritiva com *A. brasilense*, as cepas AbV5 e AbV6 em alface e rúcula mostraram efeito semelhante em ambos os casos, porém, inoculação com *A. brasilense* via solução nutritiva aumentaram o crescimento de raízes e parte aérea e fornecem maior acúmulo de nutrientes em plantas de rúcula e alface em sistema hidropônico (OLIVEIRA et al., 2023a). A inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento da produtividade de folhas de alface americana em sistema hidropônico, além de proporcionar aumento do teor de clorofila foliar, taxa fotossintética, condutância estomática, concentração intracelular de CO_2, eficiência do uso da água e conteúdo relativo de água nas folhas de alface americana (OLIVEIRA et al., 2023b).

2.4. Utilização de rizobactérias para aumentar os teores de Zn e Fe foliar e reduzir o teor de Nitrato foliar

A alface é uma hortaliça folhosa rica em vitaminas, minerais e compostos biologicamente ativos, porém, também tem alta concentração de nitrato nas suas folhas. Os nitratos são compostos não tóxicos, entretanto, quando em contato com o trato gastrointestinal, são convertidos em nitrito, um composto altamente tóxico que pode levar a distúrbios nos humanos (TABAGLIO, 2020). Altas concentrações de nitrato no solo também são prejudiciais às plantas e afetam o seu desenvolvimento (ANJANA, 2007).

As rizobactérias têm capacidade de fixação biológica de nitrogênio e de aumentar a atividade da redutase do nitrato, enzima importante para o aproveitamento do nitrato absorvido pela planta. Esta enzima é responsável por reduzir o nitrato em nitrito, fazendo com que o nitrogênio seja incorporado como NH_2, evitando assim o acúmulo de nitrato na planta. Este processo também é importante para formação de aminoácidos livres em proteínas, o que dificulta a alimentação das pragas, diminuindo assim o ataque de pragas nas plantas inoculadas (LIMA, 2017).

A inoculação com *A. brasilense* proporcionou redução do acúmulo de nitrato foliar nas plantas de alface americana hidropônicas isto ocorreu pelo aumento da atividade da enzima nitrato redutase nas folhas de alface inoculadas em relação às não inoculadas (OLIVEIRA et al., 2023b).

Este efeito também foi observado em alface cultivada em sistema hidropônico inoculada com *Bacillus subtilis* via solução nutritiva (OLIVEIRA et al., 2023c).

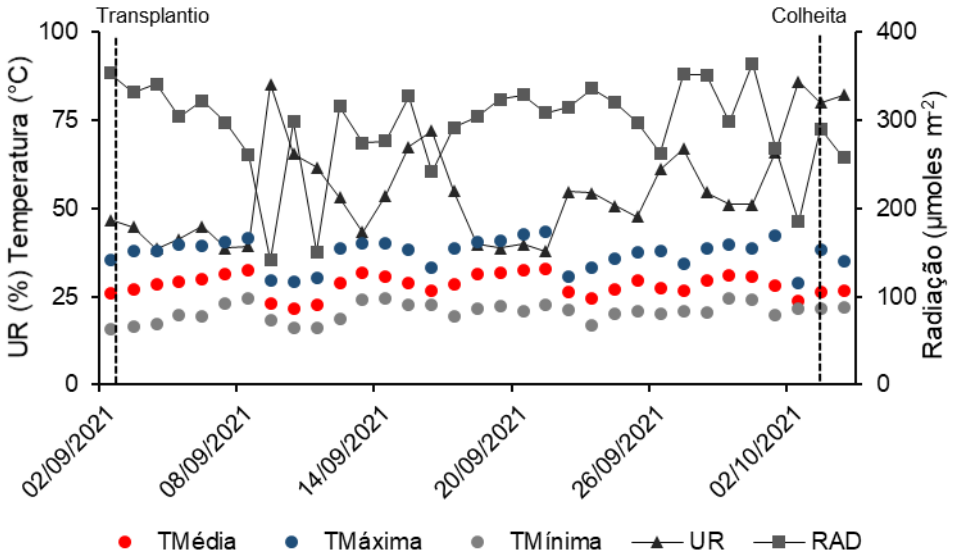
A inoculação de rizobactérias em alface foi capaz de produzir sideróforos (SANTOS, 2010). Sideróforos são moléculas orgânicas responsáveis por capturar o ferro ferroso, esta molécula se liga ao ferro (Fe^{+3}) e adentra à célula, pela membrana celular, por meio de receptores específicos de sideróforos (AMARAL, 2020). A inoculação com *A. brasilense* via solução nutritiva proporcionou aumento do acúmulo de ferro (Fe) e zinco (Zn) foliar e nas raízes das plantas, que possivelmente pode ocorrer devido ao aumento da produção de sideróforos sob a inoculação (OLIVEIRA et al., 2023b).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Local

O experimento com associação de rizobactérias em cultivo hidropônico de alface americana foi desenvolvido em casa de vegetação com sombreamento de 30%, pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Ilha Solteira – SP, com coordenadas geográficas (20°25'07"S 51°20'31"W), com altitude de 376 m. Os dados meteorológicos foram coletados da área externa da estufa de uma estação meteorológica automática da UNESP entre o período de 2 de setembro a 4 de outubro (Figura 1).

Figura 1. Condições climáticas de umidade relativa do ar (UR), temperatura máxima (TMáxima), média (Tmédia) e mínima (Tminíma) e radiação PAR (RAD) durante a realização do experimento.



Fonte: elaborada pela autora.

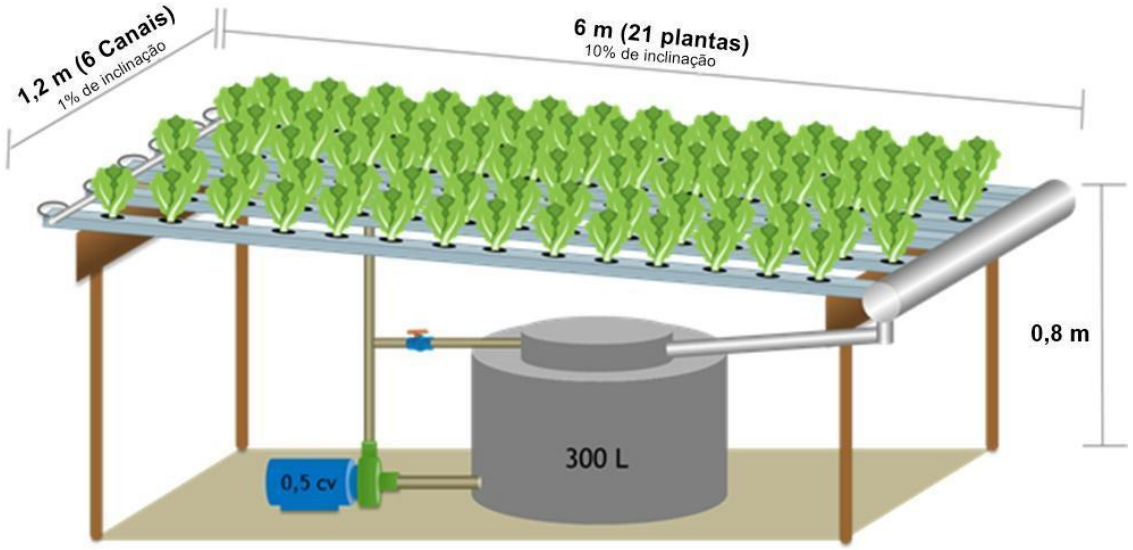
3.2. Tratamentos, delineamento experimental e execução do experimento

O experimento foi realizado com o delineamento experimental de blocos ao acaso com cinco repetições. Onde cada unidade experimental foi constituída por 4 plantas de alface coletadas na bancada aleatoriamente dos 4 canais centrais da bancada hidropônica. Os tratamentos foram constituídos de doses de *Azospirillum brasilense* estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de $2x10^8$ UFC mL^{-1}), nas doses de 0 (controle não inoculada), 8, 16, 32 e 64 mL do inoculante líquido para cada 100 litros de solução nutritiva apenas no dia do transplantio das mudas.

O experimento foi instalado em sistema NFT sob bancadas individuais de seis metros de comprimento e 10% de declividade. Os canais de cultivo eram 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 (Figura 2). Cada bancada consistia em 6 canais de

cultivo distantes 20 cm com um sistema de bombeamento individual e um reservatório de 300 L com vazão de 1 L por minuto e período de exposição da solução nutritiva com fluxo contínuo.

Figura 2. Esquema da bancada de hidroponia na condução dos testes. Ilha Solteira, SP, 2023.



Fonte: elaborada pela autora.

Utilizou-se a alface americana cultivar Angelina, que possui as características de ser plantas vigorosas, com excelente formação de saia, cabeças fechadas, compactas e uniformes em campo aberto e em hidroponia, com nível moderado de resistência à bacteriose, folhas verdes intensas e brilhantes, segurança de plantio em períodos de oscilações climáticas (alta adaptação às condições de cultivo tropical).

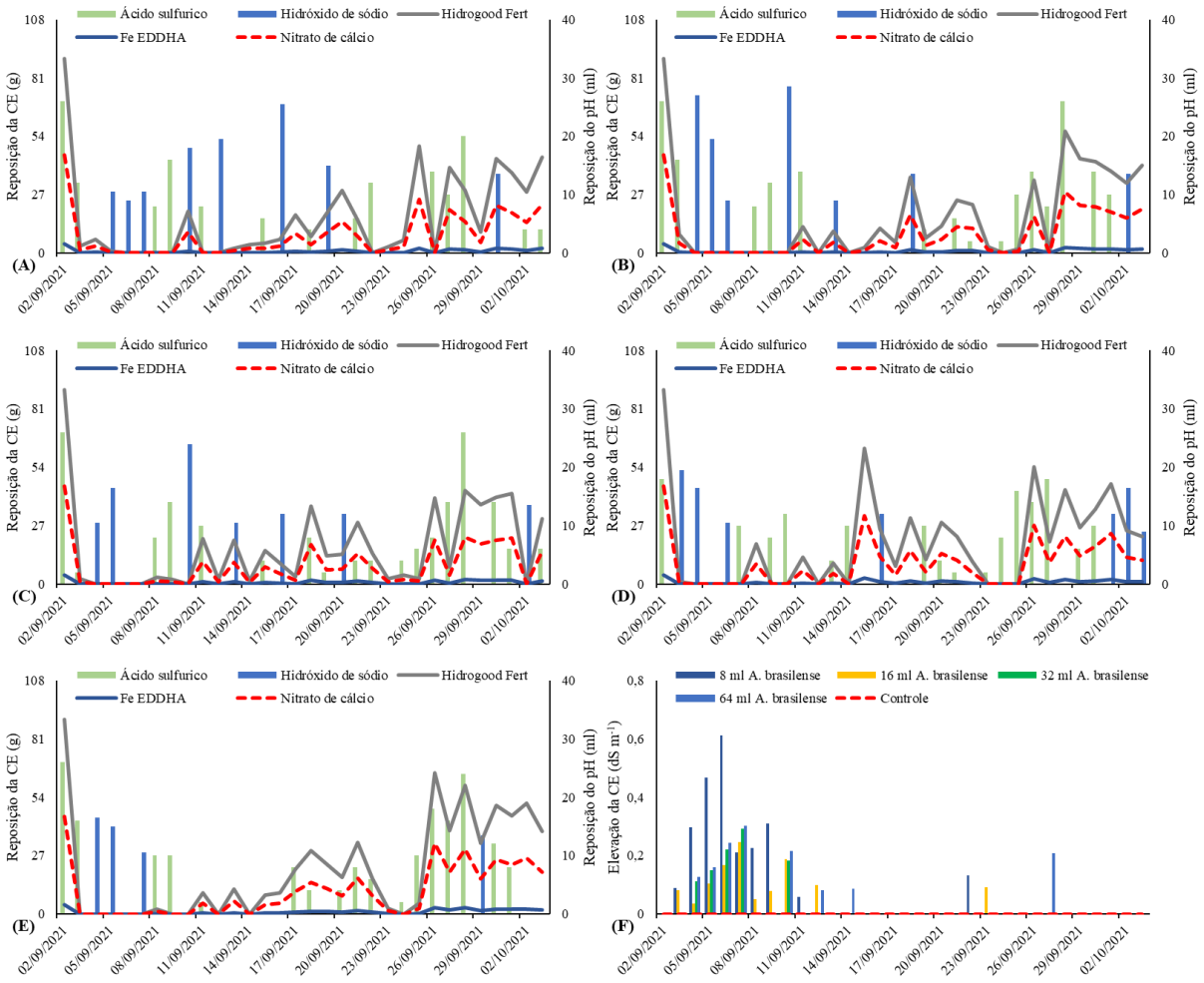
As mudas foram desenvolvidas em espuma fenólica por 15 dias e posteriormente transplantadas para as bancadas permanentes do sistema NTF, onde permaneceram por 31 dias até a colheita. A solução nutritiva composta por fertilizantes concentrados de Hidrogood Fert foi utilizada na dose de 0,666 g L^{-1} indicada para todas as fases de desenvolvimento da cultura, com as seguintes concentrações de nutrientes (%): 10 de nitrogênio (N), 9 de fósforo (P), 28 de potássio (K), 4,3 de enxofre (S), 3,3 de magnésio (Mg), 0,06 de boro (B), 0,01 de cobre (Cu), 0,05 de manganês (Mn), 0,07 de molibdênio (Mo) e 0,02 de zinco (Zn); também utilizando Nitrato de Cálcio na dose de (0,495 g L^{-1}) com as seguintes concentrações de nutrientes (%): 15,5 de N e 26,5 de cálcio (Ca); também Hidrogood Fert Ferro EDDHA 6% de ferro (Fe) na dose de (0,020 g L^{-1}).

A medição e correção da condutividade e do pH foram realizadas diariamente pela manhã, nesta ocasião a condutividade elétrica (CE) foi reajustada para a CE determinada para cada bancada de cultivo com a reposição de fertilizantes se necessário, a determinação de CE foi aumentada no 1°, 11° e 21º dia após o transplantio (DAT). Realizou-se a suplementação semanal com 20 mg L^{-1} de K_2O (KCl) de todas as bancadas, para melhorar o estado hídrico das plantas pelo efeito das elevadas temperaturas da região (determinação realizada em estudos prévios, pois a não

suplementação proporcionou murcha nas plantas no período de maior calor diário). A condutividade elétrica inicial foi de 1,3 dS m^{-1} estes valores foram elevados de acordo com o estádio de cultivo e sua resposta a adubação, então aos 11° DAT elevou a CE determinada para 1,5 dS m^{-1} e aos 21° DAT foram elevadas para 1,7 dS m^{-1} permaneceu até a colheita, e para manter o pH entre 6,0 e 6,5, foi utilizado ácido sulfúrico (25%) quando pH acima de 6,5, e hidróxido de sódio (25%) quando pH abaixo de 6,0.

A reposição da condutividade elétrica e de pH foram descritos conforme os usos de fertilizantes (Figs. 3A, B, C, D e E), o efeito da inoculação na solução nutritiva causou elevação da CE sem adição de nutrientes (possivelmente pela fixação biológica de nitrogênio "FBN") e desta forma evitou a reposição de nutrientes por período maior, foi descrito as elevações diárias da condutividade elétrica pela inoculação (Figura 3F).

Figura 3. Reposição do pH e condutividade elétrica (CE) em sistema hidropônico NFT no tratamento controle (A), com a inoculação de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva na dose 8 ml 100 L^{-1}, (B) 16 ml 100 L^{-1} (C), 32 ml 100L^{-1} (D), 64 ml 100L^{-1} (E) e a elevação da CE ocasionada pela inoculação conforme cada tratamento (F) no período do experimento.



Fonte: elaborada pela autora.

3.3. Avaliações biométricas, nutricionais e de produtividade

As avaliações foram realizadas aos 31 dias após o transplantio das mudas de alface (colheita), foram coletadas 8 plantas por bancada e separadas para quantificação do número de folhas de cada planta, da matéria fresca do sistema radicular e da parte aérea em g, utilizando balança com precisão de 0,001 kg. Em seguida, o material foi enviado para secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 100 horas, para obtenção da matéria seca do sistema radicular e da parte aérea em g utilizando balança analítica com precisão de 0,001g. Após a secagem, pesagem e moagem dos materiais vegetais em moinho tipo Wiley, foram determinados de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997), as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea e raízes da alface. Foi determinada a concentração de NO_3^- e NH_4^+ na parte aérea e raízes de acordo com a metodologia de Silva (2009). O acúmulo de nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas foi calculado com base nas respectivas produtividades de matéria seca e concentrações de nutrientes, de NO_3^- e NH_4^+ obtidas. Usando a equação: produtividade de massa seca em kg m^{-2} X concentração de nutrientes, de NO_3^- e NH_4^+ obtidas em g kg^{-1} ou mg kg^{-1} = acúmulo em g m^{-2} ou mg m^{-2}.

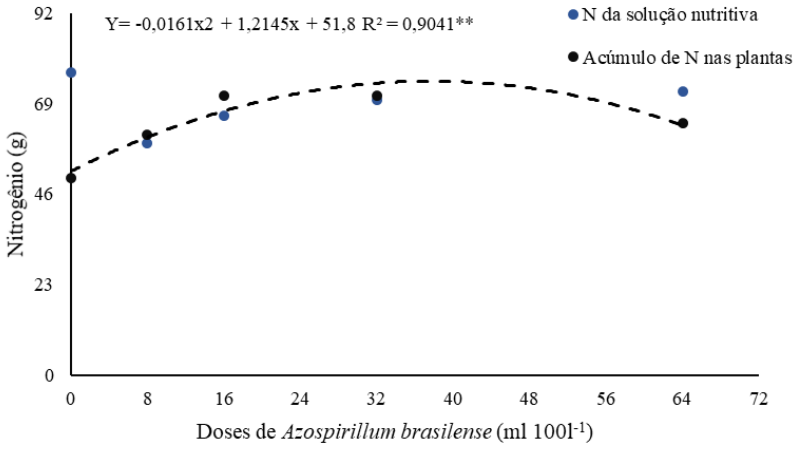
3.4. Análise estatística

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (teste F). A significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. As médias relativas a doses de inoculante com *A. brasilense* foram ajustadas em forma de regressão a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tratamento sem inoculação, o fornecimento de nitrogênio foi maior do que o seu acúmulo. Além disso, o acúmulo de nitrogênio no tratamento sem inoculação foi menor se comparado com as plantas cultivadas com inoculação de *A. brasilense,* o que demonstra que o uso de bactérias promotoras de crescimento pode aumentar a eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados. A baixa eficiência do uso do fertilizante nitrogenado também foi constatado no tratamento com a maior dose do inoculante (64 ml), onde o excesso de *A. brasilense* prejudicou o balanço nutricional das plantas. Enquanto nas doses de 8, 16 e 32 ml de *A. brasilense* se observou maior acúmulo de N nas plantas (10, 12 e 6%, respectivamente) em relação ao N fornecido via solução nutritiva (Figura 4).

Figura 4. Acúmulo de nitrogênio total nas plantas de alface em toda bancada de cultivo hidropônico e o fornecimento total de nitrogênio via solução nutritiva em todo período de cultivo em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.



Fonte: elaborada pela autora.

O aumento das doses do inoculante resultou em um efeito significativo no acúmulo de N, P, K, Mg, S, B, Fe, Mn, Zn, NH_4^+, NO_3^- tanto na parte aérea quanto nas raízes. Além disso, observou-se um efeito significativo no acúmulo de Ca na parte aérea, mas não houve significância no acúmulo de Ca nas raízes (Tabela 1). Em outro estudo, observou-se que o uso da inoculação foliar de *A. brasilense* na alface hidropônica proporcionou maiores acúmulos de N, P, K, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn quando comparado com o tratamento sem inoculação (Moreira et al., 2022) .

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na parte aérea e nas raízes das plantas de alface.

FV	Q.M. acúmulo na parte aérea									
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
Bloco	3.05	0.22	9.54	1.22	0.11	0.03	5.08	8940	220.9	128.1
Doses	4.02**	0.44**	7.65**	1.37*	0.11**	0.03*	3.92**	13646**	513.1**	157.6**
Resíduo	0.71	0.02	1.23	0.26	0.01	0.007	0.35	921	53.40	18.85
CV (%)	10.24	7.65	12.20	15.44	10.41	13.29	11.08	8.34	13.33	10.07
Regressão										
Linear	0.07^{ns}	0.01**	0.02*	0.63^{ns}	0.01**	0.01**	0.02*	0.76^{ns}	0.01**	0.05*
Quadrática	0.01**	0.01**	0.01**	0.02*	0.01**	0.09^{ns}	0.01**	0.01**	0.06^{ns}	0.01**
Desvio	0.12^{ns}	0.06^{ns}	0.12^{ns}	0.06^{ns}	0.07^{ns}	0.53^{ns}	0.13^{ns}	0.08^{ns}	0.43^{ns}	0.06^{ns}
FV	Q.M. acúmulo nas raízes									
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
Bloco	0.004	0.003	0.003	0.0006	0.002	0.002	0.004	72.90	0.37	1.37
Doses	0.41**	0.006**	0.20**	0.002^{ns}	0.008**	0.02**	0.53**	1469**	14.09**	12.6**
Resíduo	0.009	0.0009	0.004	0.004	0.0008	0.001	0.009	62.62	0.50	0.42
CV (%)	9.64	9.48	8.22	20.34	10.70	12.65	8.76	7.36	8.85	7.77
Regressão										
Linear	0.01**	0.05*	0.01**	0.94^{ns}	0.02*	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.03*
Quadrática	0.01**	0.001**	0.01**	0.64^{ns}	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**
Desvio	0.06^{ns}	0.80^{ns}	0.06^{ns}	0.53^{ns}	0.54^{ns}	0.38^{ns}	0.11^{ns}	0.20^{ns}	0.08^{ns}	0.60^{ns}

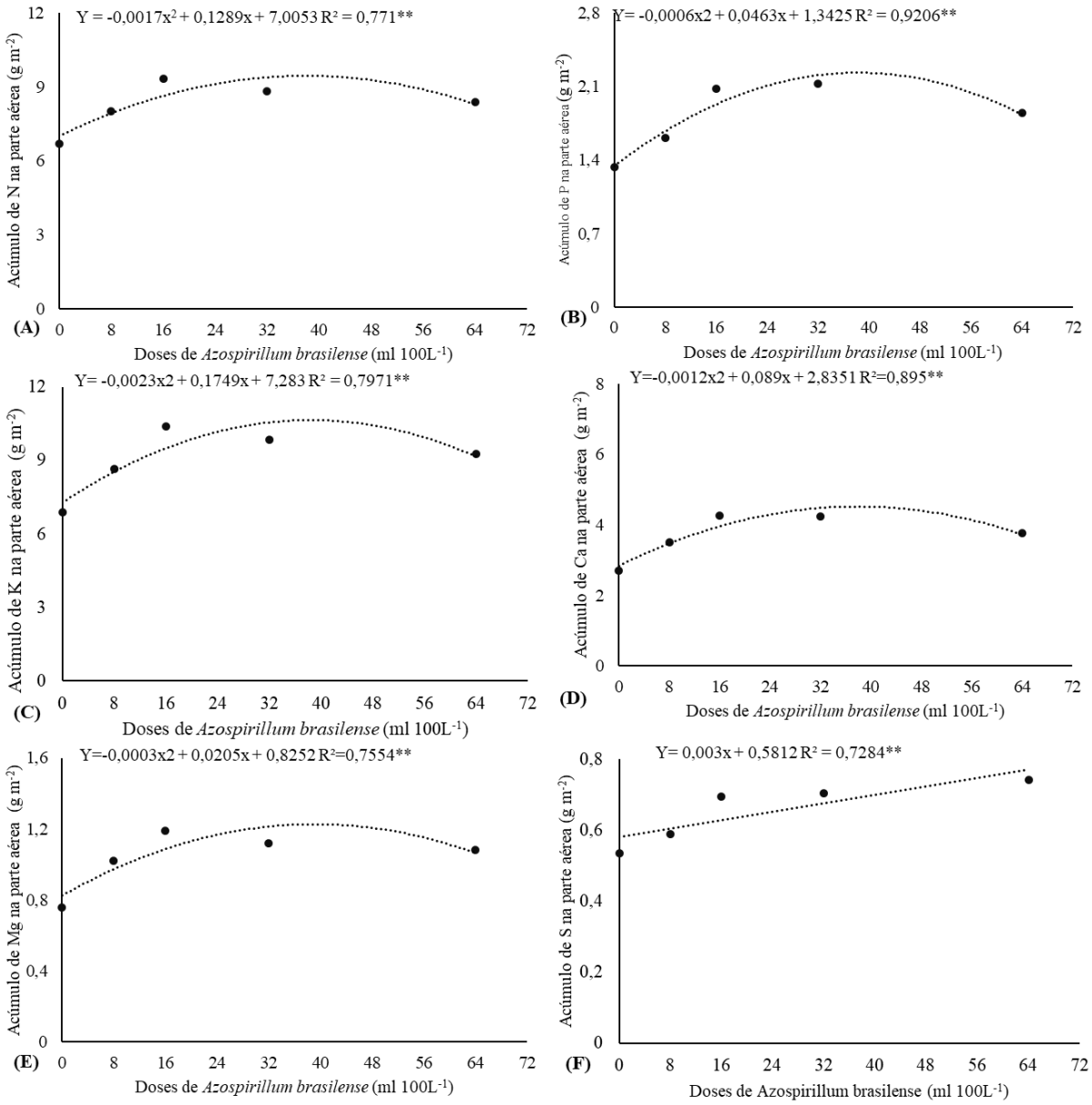
FV	Q.M. acúmulo parte aérea		Q.M. acúmulo nas raízes	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
Bloco	3326	10823	76.07	14.72
Doses	35085**	16560**	1005**	464.1**
Resíduo	511	1785	42.41	41.85
CV (%)	10.39	12.97	15.88	10.24
Regressão				
Linear	0.001**	0.001**	0.001**	0.003**
Quadrática	0.09^{ns}	0.02*	0.001**	0.001**
Desvio	0.78^{ns}	0.09^{ns}	0.42^{ns}	0.16^{ns}

** significativo a 1%, * significativo a 5%, ^{ns} não significativo, CV - coeficiente de variação, Q.M. - quadrado médio, F.V. - fonte de variação. Fonte: Própria autora.

O maior acúmulo de N na parte aérea ocorreu com a dose calculada de 37 ml do inoculante por 100 L com 9,55 g m^{-2} (Figura 5A). O maior acúmulo de nitrogênio nas plantas, resultante da inoculação, promoveu um aumento no desenvolvimento radicular e em consequência a maior exploração do sistema de cultivo, outro fator que pode proporcionar este resultado é a hipótese de ocorrer fixação biológica de nitrogênio, que por sua vez, aumenta a disponibilidade de N no sistema, proporcionando maior crescimento para as plantas e, consequentemente, aumenta sua produtividade (PANKIEVICZ et al., 2015).

A inoculação com *A. brasilense* na dose de 38 ml 100 L-1 do inoculante propiciou maior acúmulo de P na parte aérea das plantas com 2,25 g m^{-2} (Figura 5B). Em relação ao Ca e Mg, o acúmulo máximo na parte aérea foi de 5,58 e 1,18 g m^{-2}, nas doses estimadas de 37 ml e 32 ml 100 L^{-1}, respectivamente (Figuras 5D e E). O cálcio é um nutriente que participa dos processos estruturais das plantas, como espessamento da parede celular, aumenta a proteção das plantas contra patógenos e melhora a restauração da integridade da membrana celular (THOR, 2019). O maior acúmulo de K na parte aérea observado foi de 10,5 g m^{-2} obtido na dose ótima de 38 ml 100 L^{-1} de *A. brasilense* (Figura 5C). Devido ao papel osmótico de K no aumento da condutância estomática da folha (atuando na regulação da célula de guarda), a deficiência de K prejudica a fotossíntese da planta, além de prejudicar o transporte de água pela planta que é prejudicial em regiões tropicais (JÁKLI et al., 2017). Além disso, o acúmulo de S na parte aérea aumentou com o incremento das doses de *A. brasilense* na solução nutritiva (Figura 5F).

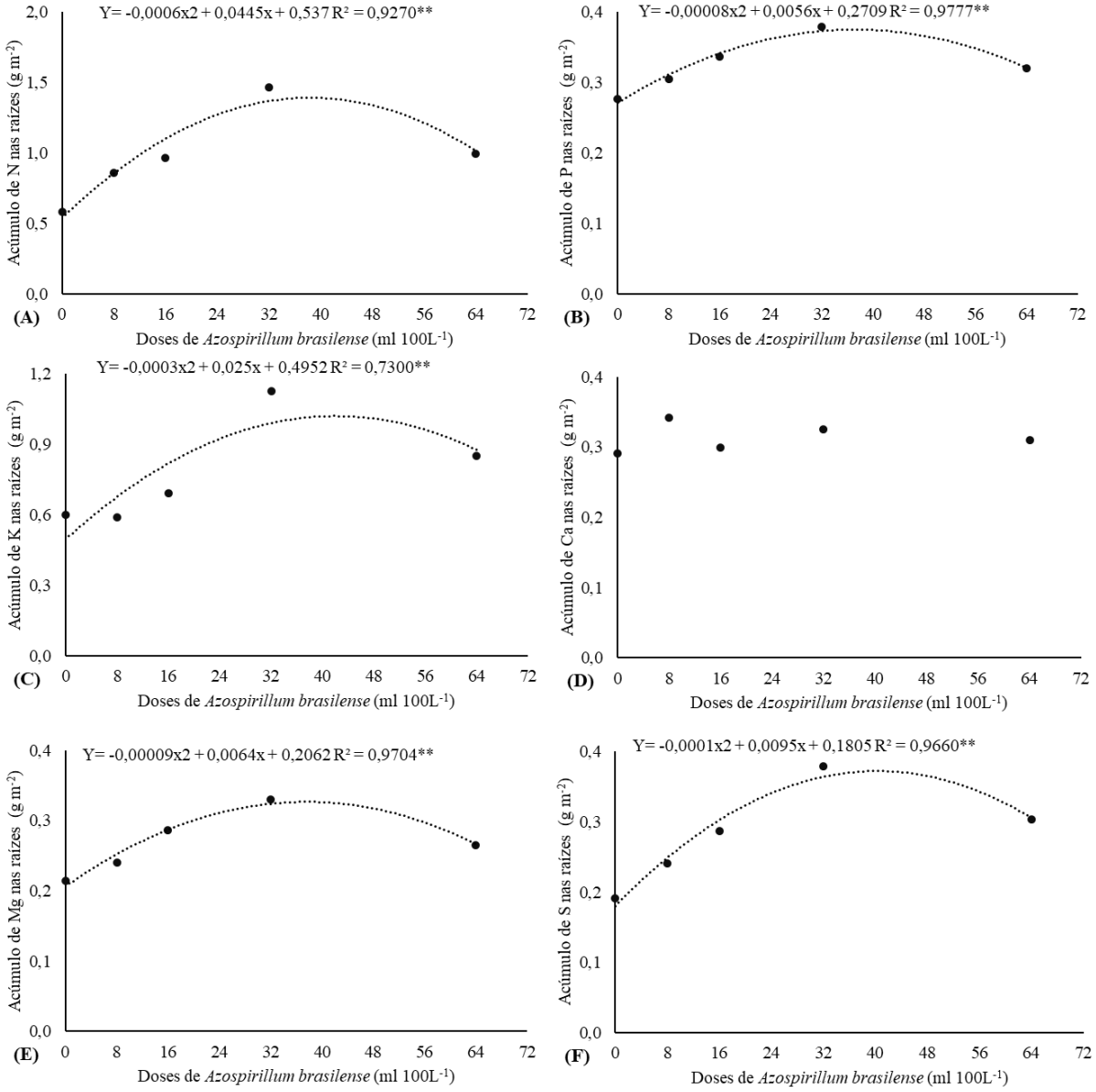
Figura 5. Acúmulos de nitrogênio na parte aérea (A), fósforo na parte aérea (B), potássio na parte aérea (C), cálcio na parte aérea (D), magnésio na parte aérea (E) e enxofre na parte aérea (F) das plantas de alface em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.



Fonte: elaborada pela autora.

Nas raízes das plantas de alface, o acúmulo máximo de N atingiu 1,36 g m^{-2} com a dose estimada de 35 ml de *A. brasilense* a cada 100 L na solução nutritiva (Figura 6A). Na dose calculada de 35 ml 100 L^{-1} foi obtido o maior acúmulo de P nas raízes de 0,37 g m^{-2} (Figura 6B). O maior acúmulo de K alcançado foi de 1,02 g m^{-2} nas raízes, sob a dose estimada de 51 ml do inoculante com *A. brasilense* (Figura 6C). Por outro lado, o acúmulo máximo de S nas raízes de alface americana foi de 0,51 g m^{-2}, observado com a dose estimada de 57 ml 100 L^{-1} de inoculante (Figura 6D). Não houve efeito significativo das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de Ca nas raízes (Figura 6E). Verificou-se um aumento no acúmulo de Mg até a dose calculada de 35 ml por 100 L, atingindo o máximo de 0,32 g m^{-2} nas raízes de alface americana (Figura 6F).

Figura 6. Acúmulos de nitrogênio nas raízes (A), fósforo nas raízes (B), potássio nas raízes (C), cálcio nas raízes (D), magnésio nas raízes (E), enxofre nas raízes (F) das plantas de alface em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.



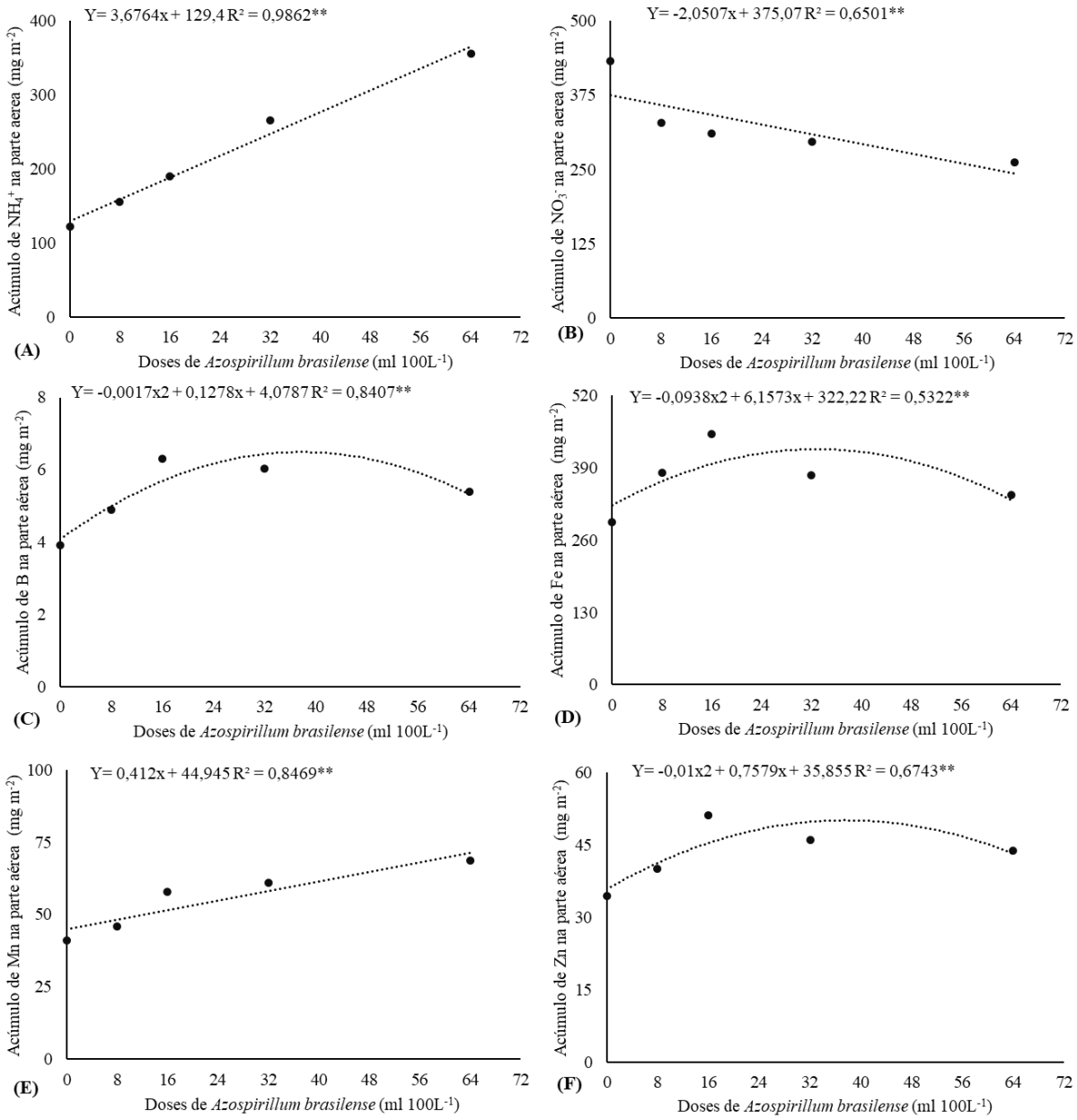
Fonte: elaborada pela autora.

Observou-se um aumento no acúmulo de amônio (NH_4^+) na parte aérea das plantas de alface à medida que as doses de *A. brasilense* foram incrementadas (Figura 7A). Por outro lado, notou-se uma redução no acúmulo de nitrato (NO_3^-) na parte aérea da alface com o aumento das doses de *A. brasilense* na solução nutritiva (Figura 7B). No entanto, o acúmulo de NH_4^+ nas raízes foi maior na dose estimada de 55 ml 100 L^{-1}, atingindo 60,86 mg NH_4^+ m^{-2} nas raízes das plantas (Figura 8A). O acúmulo de NO_3^- foi maior na dose estimada de 26 ml de *A. brasilense* na solução nutritiva, resultando em 72,60 mg NO_3^- m^{-2} (Figura 8B).

A redução no acúmulo de nitrato pode ser relacionada com a redução da expressão do gene *NF-YA* ocasionado pela inoculação de *A. brasilense,* visto que este gene é responsável pela indução

de transportadores de alta afinidade do NO_3^-, induzindo assim o aumento de amônio na parte aérea (Pii et al,. 2019). Além disso, a redução de nitrato pode ser explicada pelo estudo de Breda et al. (2019), que demonstrou que a inoculação de rizobactérias promove um aumento na atividade da enzima nitrato redutase, essa enzima é responsável por converter nitrato em nitrito.

Figura 7. Acúmulos de amônio na parte aérea (A), nitrato na parte aérea (B), boro na parte aérea (C), ferro na parte aérea (D), manganês na parte aérea (E), zinco na parte aérea (F) das plantas de alface em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.

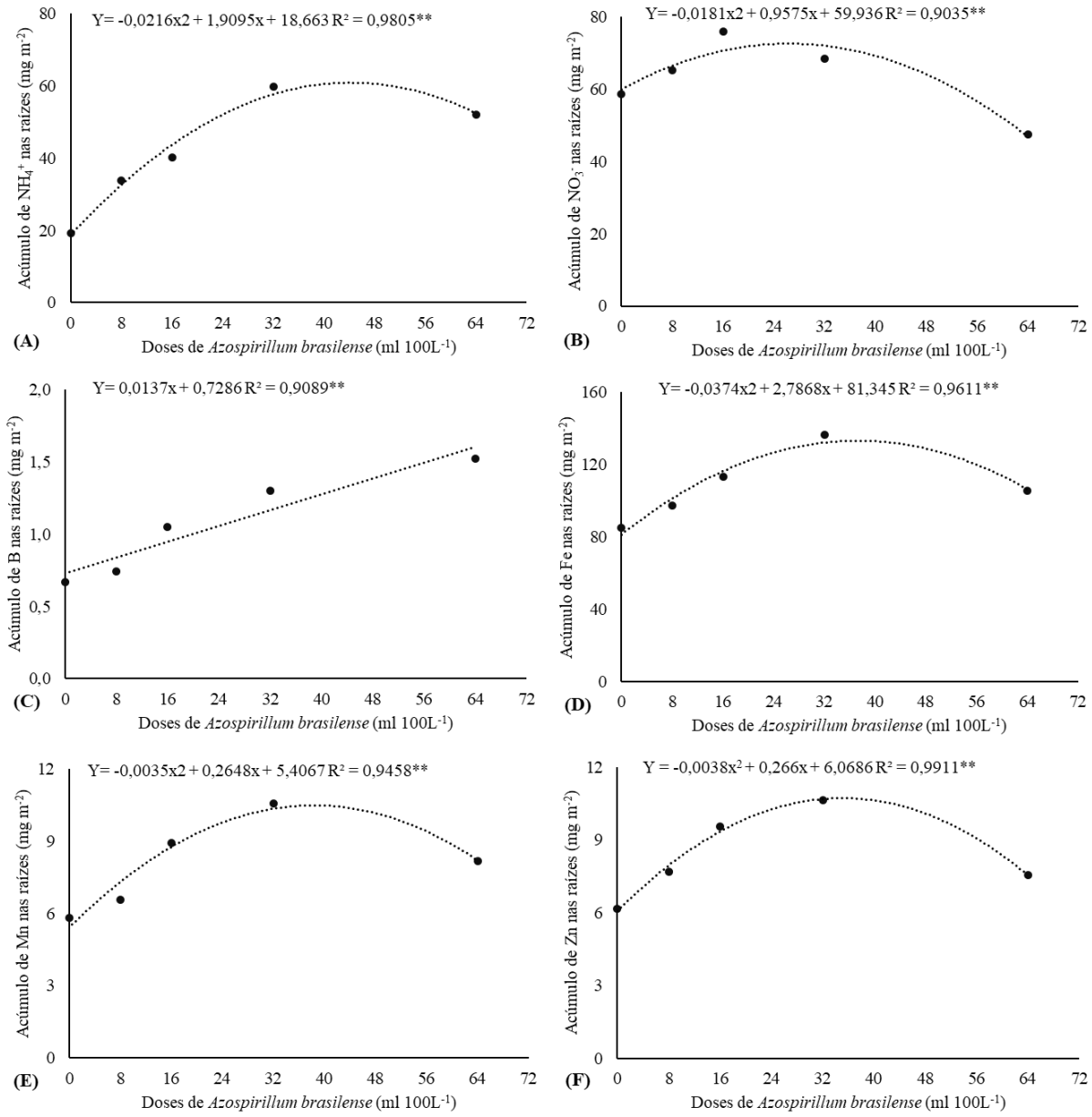


Fonte: elaborada pela autora.

O maior acúmulo de boro (B) na parte aérea foi de 6,58 mg m^{-2}, associado à dose calculada de 37 ml do inoculante a cada 100 L (Figura 7C). Observou-se um aumento no acúmulo de B nas raízes conforme o aumento das doses de *A. brasilense* (Figura 8C). O fornecimento e aquisição

adequados de B pelas plantas são responsáveis pela formação e estabilização das paredes celulares primárias, uma vez que a integridade da parede celular depende diretamente de B para realizar a transdução de sinal adequada do apoplasto para o citoplasma, portanto crítico para a função celular (WIMMER et al., 2020). O aumento da integridade da membrana da parede celular é essencial para que ocorra o crescimento e desenvolvimento dos tecidos vegetais, além disso, B e Ca promovem o crescimento de novos pêlos radiculares que absorvem efetivamente água e nutrientes para manutenção da planta (LEWIS, 2019). O acúmulo máximo de ferro (Fe) na parte aérea atingiu 523,27 mg m^{-2} na dose estimada de 32 ml do inoculante de *A. brasilense* por 100 L (Figura 7D). Houve aumento linear no acúmulo de manganês (Mn) na parte aérea com o aumento do fornecimento de *A. brasilense* através da solução nutritiva (Figura 7E). Nas raízes da alface americana, os maiores acúmulos de Fe (133,26 mg m^{-2}) e Mn (10,52 mg m^{-2}) ocorreram com a dose estimada de 37 ml do inoculante por 100 L (Figuras 8D e E). O acúmulo máximo de zinco (Zn) na parte aérea foi de 50,25 mg m^{-2} na dose ótima de 37 ml do inoculante por 100 L (Figura 7F). Além disso, na dose de 35 ml do inoculante por 100 L^{-1}, observou-se o maior acúmulo de Zn (10,72 mg m^{-2}) nas raízes da alface americana (Figura 8F).

Figura 8. Acúmulos de amônio nas raízes (A), nitrato nas raízes (B), boro nas raízes (C), ferro nas raízes (D), manganês e nas raízes (E), zinco nas raízes (F) das plantas de alface em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.



Fonte: elaborada pela autora.

As doses de *A. brasilense* tiveram um impacto significativo na massa fresca e seca da parte aérea e das raízes, no número de folhas e na produtividade de massa fresca das folhas de alface americana no sistema hidropônico (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos quadrados médios da massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca das raízes (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), número de folhas (NF) e produtividade de massa fresca das folhas (PROD) de alface.

FV	Q.M.					
	MFPA	MFR	MSPA	MSR	NF	PROD
Bloco	680,80	5,55	8,55	0,02	3,71	0,26
Doses	8862,80**	177,99**	7,79**	0,52**	9,61*	3,37**

Resíduo	302,30	13,77	0,52	0,01	2,29	0,11
CV (%)	6,76	9,51	7,37	5,95	7,95	5,76
Regressão						
Linear	0,01**	0,001**	0,001**	0,001**	0,03*	0,001**
Quadrática	0,001**	0,09^{ns}	0,32^{ns}	0,001**	0,01**	0,008**
Desvio	0,57^{ns}	0,95^{ns}	0,75^{ns}	0,06^{ns}	0,32^{ns}	0,57^{ns}

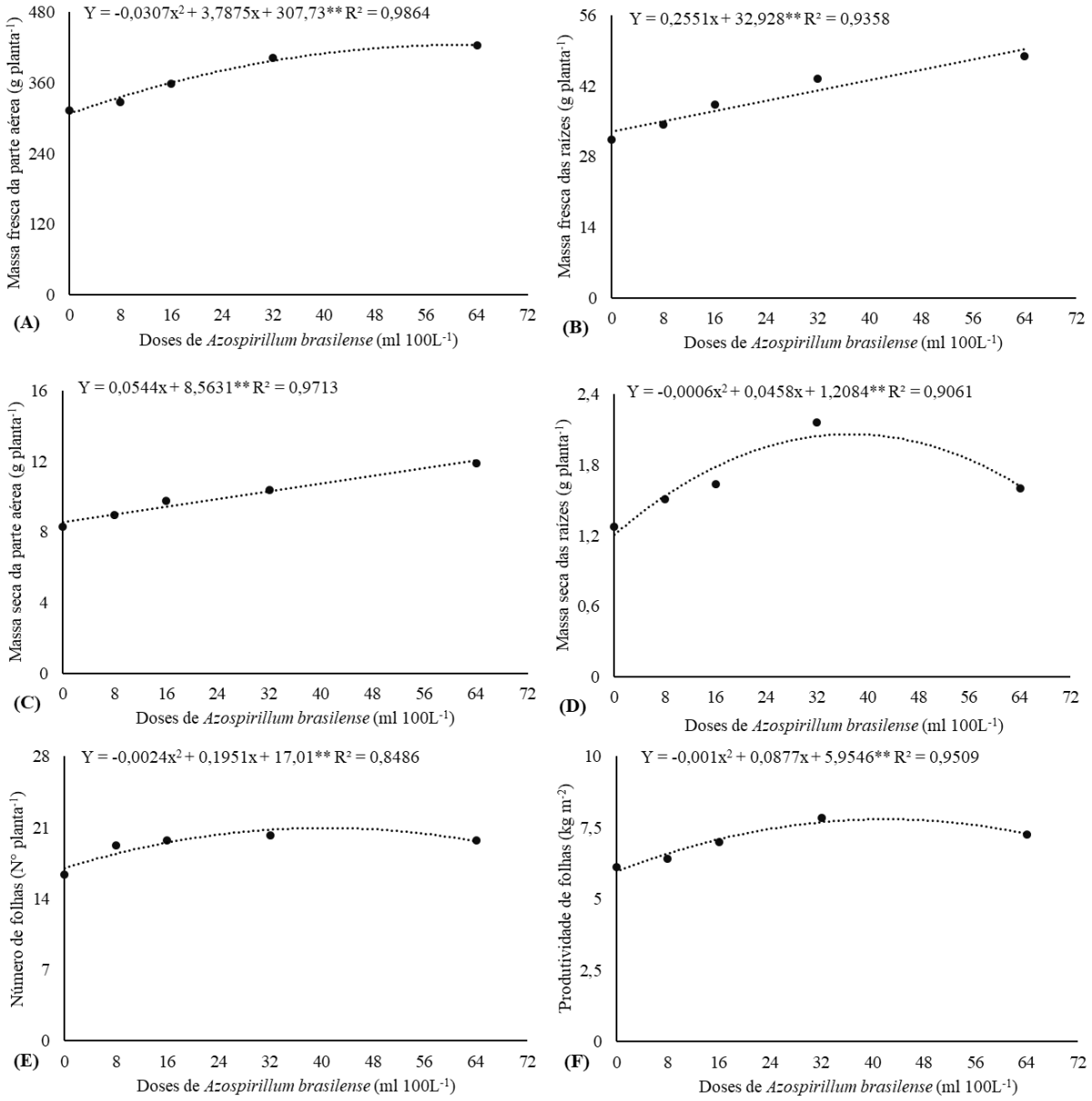
** significativo a 1%, * significativo a 5%, ^{ns} não significativo, CV coeficiente de variação, Q.M. quadrado médio, F.V. fonte de variação. Fonte: Própria autora.

A dose ótima estimada, de 61 ml do inoculante de *A. brasilense*, resultou na máxima massa fresca na parte aérea das plantas de alface, atingindo 525,5 g (Figura 9A). A massa fresca das raízes apresentou um aumento linear proporcional ao aumento das doses de *A. brasilense* (Figura 7B), assim como o acúmulo da massa seca da parte aérea de alface, que aumentou à medida que as doses de *A. brasilense* foram incrementadas na solução nutritiva (Figura 9C).

A dose calculada de 38 ml do inoculante proporcionou o máximo acúmulo de massa seca nas raízes (2,1 g) das plantas de alface (Fig. 9D). O número de folhas máximo estimado foi de 20,5 folhas planta^{-1} obtido na dose estimada de 50 ml do inoculante com *A. brasilense,* o maior número de folhas resultou em maior aproveitamento da planta para confeccionar saladas (Fig. 9E). Constatou-se aumento na produtividade quando inoculado com *A. brasilense* na dose de 55 ml 100 L^{-1} de solução nutritiva, a produtividade máxima estimada foi de 7,88 kg m^{-2} de massa fresca de alface americana (Fig. 9F).

As bactérias do gênero *Azospirillum* possuem papel ativo na síntese de fitohormônios como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno; a inoculação com esta bactéria também aumenta a produção de aminoácidos e carboidratos que é um resultado do aumento da atividade fotossintética e das trocas gasosas foliares (Oliveira et al., 2023b). Sendo assim, o maior crescimento das raízes ao inocular com *A. brasilense* observado no presente estudo ocorre devido ao estímulo do aumento da produção de fitormônios estimuladores do crescimento radicular como as auxinas, e em consequência ocorre potencialização da absorção de água e nutrientes, culminando em um melhor crescimento e desenvolvimento das plantas (Cangahuala-Inocente et al, 2013; Fukami et al., 2016; Kazi, Deaker, Wilson, Muhammad; Trethowan, 2016).

Figura 9. Massas frescas da parte aérea (A) e das raízes (B), massas secas da parte aérea (C) e das raízes (D), número de folhas (E) e produtividade de massa fresca da parte aérea (F) de alface em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.



Fonte: elaborada pela autora.

5 CONCLUSÕES

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea da alface é menor nas plantas sem inoculação em comparação com aquelas inoculadas com *Azospirillum brasiliense.* A dose de 16 ml do inoculante contendo *A. brasiliense* promove o maior acúmulo de nitrogênio em relação ao fornecido via solução nutritiva. No entanto, o maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea é obtido com a dose estimada de 37 ml do inoculante por 100 L da solução nutritiva.

Ocorre redução no acúmulo de nitrato (NO_3^-) na parte aérea da alface à medida que se aumenta as doses de *A. brasilense*, portanto, a inoculação exerce uma influência positiva para reduzir o acúmulo de nitrato em alface hidropônica. A inoculação também tem influência positiva nos acúmulos de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês e zinco tanto na parte aérea quanto nas raízes de alface.

A dose estimada de 61 ml de *A. brasiliense* proporciona a máxima massa fresca da parte aérea das plantas de alface, sendo esta a dosagem recomendada ao produtor rural. Além disso, a dose de 50 ml do inoculante resulta no número máximo de folhas por planta, enquanto a dose de 55 ml propicia maior produtividade de alface cultivada em sistema hidropônico Nutrient Film Technique.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. B., RIBEIRO, R. C., BALDANI, J. I., & BALDANI, V. L. D. Produção de sideróforos em estirpes bacterianas isoladas de Paspalum sp. **Embrapa Agrobiologia.** Artigo em periódico indexado (ALICE), 2020.

ANJANA, S. U.; IQBAL, M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 27, n. 1, p. 45-57, 2007.

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2005.

BERNARDES, F. S., PATRÍCIO, F. R. A., SANTOS, A. S., & FREITAS, S. D. S. Indução de resistência sistêmica por rizobactérias em cultivos hidropônicos. **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 36, n. 2, p. 115-121, 2010.

BREDA, F. A. F.; DA SILVA, T. F. R.; DOS SANTOS, S. G.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Modulation of nitrogen metabolism of maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense* and Herbaspirillum seropedicae. **Archives of Microbiology**, Berlin, v. 201, p. 547–558, 2019.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O. Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. **Biology And Fertility Of Soils**, [S.L.], v. 56, n. 4, p. 461-479, maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y.

Cassán F., Vanderleyden J, Spaepen S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus Azospirillum. **J Plant Growth Regul**, v. 33, p. 440–459. 2014.

CORREA, É. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtili*s GB03 em alface hidropônica. **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 36, n. 4, p. 275-281, 2010.

CORREA, E.B.; BETTIOL, W. Avaliação de *Bacillus subtilis* como bioestimulante de alface hidropônica. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 32, (Supl.), p.S252-252, 2007.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, Wagner. Controle da podridão de raiz e promoção de crescimento em hidroponia com bactérias. **Embrapa Meio Ambiente.** Capítulo em livro científico, 2009.

COMETTI, N. N. Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa L.*) em cultura hidropônica-sistema NFT. 2003.

SANTANA, L. R. R. D., CARVALHO, R. D., LEITE, C. C., ALCÂNTARA, L. M., OLIVEIRA, T. W. S. D., & RODRIGUES, B. D. M. Qualidade física, microbiológica e parasitológica de alfaces (*Lactuca sativa*) de diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 264-269, 2006.

D'AGOSTINO, F.; MORANDI, M. A. B. Análise da viabilidade comercial de produtos à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus* para o controle de fitopatógenos no Brasil. **Embrapa Meio Ambiente**. Capítulo em livro científico (ALICE), 2009.

DOS SANTOS, S.G, VASCONCELOS, V. D. S., Dias, A. Potencial de rizobactérias isoladas de alface para a promoção de crescimento de plantas. **Embrapa Agrobiologia.** Artigo em periódico indexado (ALICE), 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 5, p. 529-535, 2019.

FLORENTINO, L. A., SILVA, A. B., LANDGRAF, P. R., & SOUZA, F. R. Inoculation of indole-3-acetic acid producing bacteria in lettuce (*Lactuca sativa L.*) plants. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 89-96, 2017.

FURLANI, P.R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L.C.P. & FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, v. 20, p. 90-98, 1999.

JÁKLI, B.; TAVAKOL, E.; TRÄNKNER, M.; SENBAYRAM, M.; DITTERT, K. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. **Journal of Plant Physiology**, v. 209, p. 20–30, 2017.

JAWORSKI, E.G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 43, p. 1274-1279, 1971.

Kudoyarova, G.; Arkhipova, T.; Korshunova, T.; Bakaeva, M.; Loginov, O.; Dodd, I.C. Phytohormone Mediation of Interactions Between Plants and Non-Symbiotic Growth Promoting Bacteria Under Edaphic Stresses. **Front. Plant Sci.**, 2019, 10, 1368.

LAURETT, L., FERNANDES, A. A., SCHMILDT, E. R., ALMEIDA, C. P., & PINTO, M. L. P. B. Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. **Revista de Ciências Agrárias / Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 1, p. 45-52, 2017.

Lewis, D.H. Boron: The essential element for vascular plants that never was. **New Phytol.**, v. 221, p. 1685-1690, 2019.

DE LIMA, A. A., DOS REIS VENTUROSO, L., Silva, B. A. A., GOMES, A. F., & SCHIMIDT, O. Eficiência da inoculação de *Azospirillum brasilense* associado com enraizador no crescimento e na produção de alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, p. 233-240, 2017.

LOBO, L. D. CUSTO DE PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DO CULTIVO DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM SILV NIA-GO. 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, M.; MORAES, M. F.; MALAVOLTA, E. Estudo comparativo da produção e composição mineral da alface cultivada em cinco sistemas. In: **43º CONGRESSO**

BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 2003, Recife - PE. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Olericultura. Brasília - DF: Horticultura Brasileira, 2003.

MEDEIROS, Damiana Cleuma de et al. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Hortic. Bras.**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 433-436, Sept. 2007.

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

MOREIRA, F. M. DE S.; DA SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; DE CARVALHO, F. Diazotrophic associative bacteria: diversity, ecology and potential applications. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74, 1 Dec. 2010.

MOREIRA, V.D.A.; Oliveira, C.E.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. **Arch. Microbiol.**, 2022, v. 204, e440.

MORENO, M. B. et al. Análise das folhas de alface cv. Elisa submetida a diferentes tratamentos com torta de mamona no solo infestado com Meloidogyne javanica. In: **Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE HIGIENISTAS DE ALIMENTOS, 12.; ENCONTRO NACIONAL DE CENTROS DE CONTROLE DE ZOONOSES, 2.; ENCONTRO DO SISTEMA BRASILEIRO DE INSPEÇÃO DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL, 4., 2013, Gramado. Os alimentos sob a ótica da sustentabilidade entre a consciência e a prática: anais. Gramado, 2013., 2013.

OHSE, Silvana et al. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 181-185, Mar. 2001.

OLIVEIRA, C.E.S.; Jalal, A.; Oliveira, J.R.; Tamburi, K.V.; Teixeira Filho, M.C.M. Leaf inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Trichoderma harzianum* in hydroponic arugula improve productive components and plant nutrition and reduce leaf nitrate. **Pesqui. Agrop. Trop.**, 2022, v. 52, e72755.

OLIVEIRA, C.E.S.; Gato, I.M.B.; Moreira, V.A.; Jalal, A.; Oliveira, T.J.S.S.; Oliveira, J.R.; Fernandes, G.C.; Teixeira Filho, M.C.M. Inoculation methods of *Azospirillum brasilense* in lettuce and arugula in the hydroponic system. **Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 2023, v. 27, p. 653–662.

OLIVEIRA, C.E.S; Jalal, A.; Vitória, L.S.; Giolo, V.M.; Oliveira, T.J.S.S.; Aguilar, J.V.; de Camargos, L.S.; Brambilla, M.R.; Fernandes, G.C.; Vargas, P.F.; et al. Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. **Plants**, v. 12, 3107, 2023b.

Oliveira CEdS, Jalal A, Aguilar JV, de Camargos LS, Zoz T, Ghaley BB, AbdelMaksoud MA, Alarjani KM, AbdElgawad H and Teixeira Filho MCM. Yield, nutrition, and leaf gas exchange of lettuce plants in a hydroponic system in response to *Bacillus subtilis* inoculation. **Front. Plant Sci.**, v. 14, 1248044, 2023c.

OLIVEIRA JÚNIOR, Porfírio Ponciano de. *Bacillus subtilis* na produção de alface. 2020.

PAULUS, Dalva et al. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, 2015.

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.; et al. Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. **Plant J.**, 2015, v. 81, p. 907–919.

PEREIRA, Amanda Eustachio; JUNIOR, Osvaldo Leite da Silva. Inoculação de bactérias Diazotróficas via vinhaça no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.). 2021.

PII, Y.; ALDRIGHETTI, A.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; CESCO, S. *Azospirillum brasilense* inoculation counteracts the induction of nitrate uptake in maize plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.70, n.4 p. 313–1324, 2019.

RADWAN, Tharwat El-Sayed El-Desouk; MOHAMED, Zeinat Kamel; REIS, Veronica Massena. Efeito da inoculação de Azospirillum e Herbaspirillum na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 987-994, Oct. 2004.

RUSCHEL, J. Acúmulo de nitrato, absorção de nutrientes e produção de duas cultivares de alface cultivadas em hidroponia, em função das doses de nitrogênio e potássio. 1998. 76 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1998.

SHARMA, Sushil K. Mahaveer P.; RAMESH, Aketi; JOSHI, Om P. Characterization of zinc-solubilizing Bacillus isolates and their potential to influence zinc assimilation in soybean seeds. 2011.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, E. M. N. C. P.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; TAVELLA, L. B.; SOLINO, A. J. S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n.2, p. 242-245, 2011.

SILVA, F. C. Manual of chemical analysis of soils, plants and fertilizers. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVEIRA, Klever Cristiano et al. Avaliação agronômica do tomateiro em resposta à inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas. 2018.

TABAGLIO, Vincenzo et al. Reducing Nitrate Accumulation and Fertilizer Use in Lettuce with Modified Intermittent Nutrient Film Technique (NFT) System. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1208, 2020.

Thor, K. Calcium—Nutrient and Messenger. **Front. Plant Science**, v. 10, a. 440, 2019.

TOLEDO, Agatha de Araújo Arruda Anzai. Desempenho de alface crespa inoculada com bactérias Diazotróficas. 2021.

VEJAN, Pravin; Abdullah, Rosazlin; Khadiran, Tumirah; Ismail, Salmah; Nasrulhaq Boyce, Amru. 2016. "Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability - A Review". **Molecules**, v. 21, no. 5: 573.

Wimmer, M.A.; Abreu, I.; Bell, R.W.; Bienert, M.D.; Brown, P.H.; Dell, B.; Fujiwara, T.; Goldbach, H.E.; Lehto, T.; Mock, H.P.; et al. Boron: An essential element for vascular plants. **New Phytol.**, v. 226, p. 1232–1237, 2020.