

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

**LUCAS FERNANDO PERES**

**DOSES DE *Azospirillum brasilense* EM SISTEMA HIDROPÔNICO NA  
NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA RÚCULA**

**Ilha Solteira  
2023**

**LUCAS FERNANDO PERES**

**DOSES DE *Azospirillum brasilense* EM SISTEMA HIDROPÔNICO NA  
NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA RÚCULA**

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

Nome do orientador

**Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto  
Teixeira Filho**

Nome do Co-orientador

**Dr. Carlos Eduardo da Silva Oliveira**

Ilha Solteira  
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P437d Peres, Lucas Fernando.  
Doses de *Azospirillum brasilense* em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da rúcula / Lucas Fernando Peres. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
53 f. : il.

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

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho  
Coorientador: Carlos Eduardo da Silva Oliveira  
Inclui bibliografia

1. Bactérias promotoras de crescimento de plantas. 2. Eruca sativa Mill. 3. Acúmulo de Nitrato foliar. 4. 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: Doses de *Azospirillum brasilense* em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da rúcula

ALUNO: *Lucas Fernando Peres*

RA: 172055474

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado  - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0

Comissão Examinadora:

*Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho*

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

*Angélica Cristina Fernandes Deus*

Profa. Dra. Angélica Cristina Fernandes Deus

*Guilherme Carlos Fernandes*

Me. Guilherme Carlos Fernandes

*Lucas F. Peres*

Lucas Fernando Peres

Ilha Solteira, 10 de julho de 2023.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Laurindo e Fernanda, por estarem sempre comigo, me apoiando, incentivando e sendo minhas fontes de inspiração, agradeço do fundo do meu coração. Meu irmão mais novo, Luiz, dedico-me a ser sempre uma pessoa melhor.

À minha amada namorada, Vitória, expresso minha gratidão por todo o apoio, companheirismo e sua imensa dedicação em me ajudar. Você é uma verdadeira luz na minha vida.

Ao professor Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho e a todo o Grupo de Pesquisa em Nutrição de Plantas da UNESP - Campus de Ilha Solteira, sou imensamente grato pelo suporte técnico, trabalho árduo e conhecimentos que me proporcionaram. Sua orientação e contribuição foram essenciais para o meu crescimento acadêmico.

Ao meu amigo Matheus Doná, agradeço por estar ao meu lado nessa jornada desde o dia em que cheguei à faculdade. Sua amizade e apoio são inestimáveis.

A todos os amigos que conheci ao longo dessa jornada, agradeço por compartilharem momentos memoráveis e por tornarem a graduação uma experiência enriquecedora.

Às amigadas que a graduação me trouxe, especialmente na turma LIV, expresso minha profunda gratidão. Vocês são uma parte importante da minha história acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC - CNPq).

## EPÍGRAFE

*A agricultura não é apenas uma ciência,  
mas também uma arte. Ela exige  
conhecimento técnico, visão estratégica e  
dedicação ao meio ambiente.*

Norman Borlaug

## RESUMO

A utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas tem se mostrado uma medida promissora na agricultura devido a sua capacidade em favorecer o desenvolvimento e crescimento de algumas culturas, entretanto, pouco se sabe sobre seus efeitos em sistema hidropônico. Supõe que o uso dessas bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) influencie na qualidade, nutrição e produção da rúcula. Logo, objetivou-se com este trabalho analisar as doses de *Azospirillum brasilense* no cultivo da rúcula em sistema hidropônico do tipo Nutrient Film Technique (NFT). No experimento, foi aplicado o inoculante de BPCPs na solução nutritiva na ocasião do transplântio das mudas de rúcula. A inoculação foi realizada com *Azospirillum brasilense*, com as estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de  $2 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>), nas doses de 0; 8; 16; 32 e 64 mL do inoculante líquido para cada 100 litros de solução nutritiva. O experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada bancada recebeu um tratamento. A dose indicada do inoculante de *A. brasilense* foi de 64 ml 100 L<sup>-1</sup> de solução nutritiva, por proporcionar maior massa fresca da parte aérea das plantas de rúcula hidropônica, parte da planta comercializável e que proporcionará maior lucratividade ao produtor rural. O maior crescimento e acúmulo de massas das plantas de rúcula foi obtido utilizando as doses entre 36 e 64 ml. O maior acúmulo de nutrientes no momento da colheita foi obtido entre as doses de 18 a 42 ml de inoculante com *A. brasilense*, sendo as doses com maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas de rúcula em sistema hidropônico. A maior atividade da enzima nitrato redutase nas folhas foi observada na dose de 35 ml do inoculante contendo *A. brasilense* com acréscimo de 102% em relação a não inoculação. Também houve acréscimo de 358% do acúmulo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, resultado da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> associado a maior atividade da enzima nitrato redutase.

**Palavras-chave:** Bactérias promotoras de crescimento de plantas; *Eruca sativa* Mill.; Acúmulo de nitrato foliar; Nutrição de plantas.

## ABSTRACT

The usage of plant growth-promoting bacteria has shown a promising measure in agriculture due to its ability to advance the development and growth of some crops, however, little is known about its effects in a hydroponic system. It assumes that the use of these plant growth promoting bacteria (PGPBs) influences the quality, nutrition and production of arugula. Accordingly, the objective of this work is to analyze the doses of *Azospirillum brasilense* in the cultivation of arugula in a hydroponic system of the Nutrient Films Technique (NFT). In the experiment, the PGPBs inoculant was applied to the nutrient solution when transplanting arugula seedlings. The inoculation was carried out with *Azospirillum brasilense*, with the AbV5 and AbV6 strains (guarantee of  $2 \times 10^8$  CFU mL<sup>-1</sup>), at doses of 0; 8; 16; 32 and 64 mL of liquid inoculant for every 100 liters of nutrient solution. The experiment was carried out in a randomized block experimental design with four repetitions. Each bench received a treatment. The indicated dose of *A. brasilense* inoculant was 64 ml 100 L<sup>-1</sup> of nutrient solution, as it provides greater fresh mass of the aerial part of the hydroponic arugula plants, part of the plant that is marketable and will provide greater profitability to the rural producer. The greatest growth and mass accumulation of arugula plants was obtained using doses between 36 and 64 ml. The greatest accumulation of nutrients at the time of harvest was obtained between doses of 18 to 42 ml of inoculant with *A. brasilense*, being the doses with the greatest efficiency in the absorption of nutrients by arugula plants in a hydroponic system. The highest activity of the enzyme nitrate reductase in the leaves was observed in the dose of 35 ml of the inoculant containing *A. brasilense* with an increase of 102% in relation to the non-inoculation. There was also an increase of 358% in the accumulation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, as a result of the reduction in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> associated with increased activity of the enzyme nitrate reductase.

**Keywords:** *Eruca sativa* Mill; Leaf nitrate; Plant growth-promoting bacteria; Plant nutrition.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Comprimento da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o comprimento das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....23
- Figura 2 – Massa fresca da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e a massa fresca das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....25
- Figura 3 – Massa seca da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e a massa seca das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....27
- Figura 4 – Número de folhas na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o índice de clorofila foliar na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....29
- Figura 5 – Acúmulo de N na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de P na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....31
- Figura 6 – Acúmulo de K na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de S na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....33
- Figura 7 – Acúmulo de Ca na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Mg na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....35
- Figura 8 – Acúmulo de B na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Cu na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva .....37

- Figura 9 – Acúmulo de Fe na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Mn na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva ..... 39
- Figura 10 – Acúmulo de Zn na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  na parte aérea (B),  $\text{NO}_3^-$  na parte aérea (D) e atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas folhas (F) na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva ..... 41
- Figura 11 – Acúmulo de N (A), P (B), K (C), S (D), Ca (E) e Mg (F) nas raízes na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva ..... 44
- Figura 12 – Acúmulo de B (A), Cu (B), Fe (C), Mn (D), Zn (E),  $\text{NH}_4^+$  (F),  $\text{NO}_3^-$  (G) e a atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas raízes (H) na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva ..... 46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	22
Tabela 2. Resumo da análise de variância dos quadrados médios da massa fresca da parte aérea (MFPA) e das raízes (MFR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	24
Tabela 3. Resumo da análise de variância dos quadrados médios da massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	26
Tabela 4. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do número de folhas (NF) e do índice de clorofila foliar (ICF) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	28
Tabela 5. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de nitrogênio na parte aérea (N) e de fósforo (P) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	30
Tabela 6. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de potássio na parte aérea (K) e de enxofre (S) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	32
Tabela 7. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de cálcio na parte aérea (Ca) e de magnésio (Mg) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	34
Tabela 8. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de boro aérea (B) e de cobre (Cu) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	36
Tabela 9. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de ferro aérea (Fe) e de manganês (Mn) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	38
Tabela 10. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de zinco aérea (Zn), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio .....	40
Tabela 11. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de nitrogênio nas raízes (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na avaliação realizada aos 31 dias após o transplântio .....	43
Tabela 12. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de boro nas raízes (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na avaliação realizada aos 31 dias após o transplântio .....	45

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 O cultivo de rúcula em técnica do fluxo laminar de nutriente (NFT).....	13
2.2. Benefícios do uso bactérias promotoras de crescimento de plantas .....	14
2.3. Rizobactérias e concentração de nitrato.....	14
2.4. Efeitos do nitrato foliar na saúde humana .....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5. CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS .....	47
APÊNDICE A - Condições climáticas de umidade relativa do ar (UR), temperatura máxima (T. Máx.), média (T. Méd.) e mínima (T. Mín.) e radiação PAR (PAR) durante o experimento .....	52
APÊNDICE B – Reposição de pH e condutividade elétrica (CE) em sistema hidropônico NFT no tratamento controle (A), com inoculação de <i>A. brasilense</i> via solução nutritiva na dose de 8 mL 100 L <sup>-1</sup> , (B) 16 mL 100 L <sup>-1</sup> (C), 32 mL 100L <sup>-1</sup> (D), 64 mL 100L <sup>-1</sup> (E) no período experimental .....	53

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção agrícola por meio da hidroponia do tipo Nutrient Film Technique (NFT) entrou em processo de expansão na década de 90 e desde então tem sido feitas melhorias no seu sistema com o intuito de contornar os problemas relacionados às elevadas doses de fertilizantes utilizados. Desse modo as pesquisas buscam maneiras de aumentar a eficiência na absorção dos nutrientes pelas plantas. Considerando o crescimento populacional e o esgotamento de algumas jazidas de nutrientes, a utilização de práticas com o objetivo de aumentar a eficiência no uso desses insumos é de muita importância para assegurar a continuidade da produção agrícola de forma rentável (PANTANO et al., 2016).

Dentre as hortaliças de folha larga mais produzidas no sistema hidropônico, encontra-se a rúcula seu consumo e seu valor comercial tem crescido nos últimos anos, o sabor e aroma peculiar fazem com que a utilização desse vegetal seja comum principalmente na forma de salada, por ser consumida *in natura* é uma importante fonte de vitamina C, ferro e cálcio, apresentando também características desintoxicantes para o funcionamento saudável do organismo (MEDEIROS et al., 2007). A valorização de uma dieta mais saudável beneficiou o aumento do consumo de frutas e verduras de qualidades, neste sentido o sistema hidropônico NFT fornece todos os nutrientes necessário para o desenvolvimento e crescimento de hortaliças como a rúcula, fazendo que ela fixe em sua composição parte dos elementos essenciais para o nosso organismo.

Comparando-se os tipos de cultivo em ambiente protegido, a hidroponia possui mais aceitabilidade devido a esse sistema ser mais versátil, possuindo maior controle da disponibilidade de água e nutrientes, possibilitando o seu cultivo em qualquer época do ano, favorecendo a produção de hortaliças folhosas como a rúcula (ANDRIOLO, 2017). De acordo com Rodrigues (2012), as hortaliças são plantas essenciais na nutrição humana, pois, são capazes de evitar doenças graves, fornecem elementos importantes em nossa dieta, auxiliam no bom funcionamento do organismo, além de possuir um baixo teor calórico, as de coloração verde como a rúcula, alface e brócolis contribuem para a integridade óssea, visão, pele e de nosso sistema imunológico.

Por se tratar de um alimento muitas vezes ingeridos em sua forma crua, há uma série de cuidados relacionados ao seu cultivo, tais como, aplicações de defensivos ou

quantidades exorbitantes de fertilizantes os quais podem gerar problemas a saúde humana. Doses excessivas de adubos nitrogenados são uma das principais características responsáveis por fazer com que a rúcula acumule nitrato nas folhas. O consumo em excesso do nitrato pode acarretar problemas graves devido a uma série de reações em nosso organismo, gerando uma anormalidade na hemoglobina que a impede de transportar o oxigênio até o tecido (ANJANA, 2007), além de ser relatado como carcinogênico e mutagênicos (LUZ et al., 2008).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) apresentam múltiplos mecanismos de atuação no crescimento de plantas, entre eles, temos a produção e secreção de fitormônios (ácido indol-3-acético, citocininas, giberelinas e etileno); de reguladores de crescimento de plantas (ácido abscísico, óxido nítrico e de poliaminas como espermidina, espermina); aumento na disponibilidade de nutrientes, solubilização do fosfato, na atividade da redutase do nitrato e na eficiência de uso do N; biocontrole de fitopatógenos e doenças; proteção das plantas contra estresse salino e elementos tóxicos do solo; além de FBN (TEIXEIRA FILHO; GALINDO, 2019).

Visando uma forma mais sustentável de fornecer o nutriente às plantas e conseqüentemente para a população, realiza-se a inoculação com a bactéria promotora de crescimento de plantas *Azospirillum brasilense*, que pode promover resultados significativos na fixação de N<sub>2</sub> atmosférico. Além de maior desenvolvimento radicular, devido à ação de hormônios vegetais como ácido indol-acético (AIA), giberilinas e citocininas, aumentando, portanto, a absorção de água e nutrientes pela planta, maior tolerância a fatores abióticos, gerando efeitos positivos na produtividade de grãos (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004), sendo mais sustentável ao meio ambiente.

Pesquisa realizada utilizando inoculação foliar com *A. brasilense* mostrou-se promissora no aumento do crescimento e na nutrição das plantas de rúcula hidropônica (OLIVEIRA et al., 2022). Todavia, faltam estudos sobre a utilização de BPCPs em sistema hidropônico, não se sabe o efeito ou mesmo a melhor dose de inoculante contendo *Azospirillum brasiliense* que poderá propiciar o maior benefício ao cultivo da rúcula via solução nutritiva.

Sendo assim, objetivou-se analisar a melhor dose de inoculante com *Azospirillum brasilense* na cultura da rúcula sob cultivo hidropônico NFT em solução nutritiva, avaliando a concentração de nitrato presente na folha assim como fatores de qualidade nutricional e incremento de produtividade.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O cultivo de rúcula em técnica do fluxo laminar de nutriente (NFT)

A rúcula é uma hortaliça folhosa de porte baixo pertencente à família *Brassicaceae* que vem ganhando espaço em nossa alimentação, caracterizada por possuir um odor acentuado e sabor picante o que a torna palatável (SANTOS, 2017). Devido à falta de estudos relacionado a essa cultura, muitas vezes as recomendações para o seu manejo são feitas de forma generalizada como outras espécies ou então são utilizadas informações de culturas folhosas como a alface (PURQUERIO et al., 2007). As informações a respeito da necessidade de nutrientes no processo de crescimento da rúcula dentre os variados ambientes de cultivo, são necessárias para obter as quantidades que os elementos podem ser oferecidos de maneira imediata para sua assimilação, evitando perdas e aumentando a eficiência no uso de fertilizantes de modo a maximizar a produtividade (GRANGEIRO et al., 2011).

Técnicas de cultivo fechado como a hidroponia faz com que o produtor possa manejar os fatores climáticos, além de permitir a disponibilização dos elementos essenciais as plantas através de doses precisas de acordo com o desenvolvimento da cultura (FURLANI et al., 1999). A hidroponia consiste em uma técnica agrônômica onde não há interação da planta com o solo, esse sistema visa oferecer um produto com maior qualidade, livre de contaminação por fatores externos, além de utilizar com eficiência a água (MENEGAES et al., 2015). A técnica hidropônica NFT, consiste numa solução contendo os elementos necessários para o desenvolvimento da cultura que percorre os canais do sistema em períodos programados, disponibilizando os nutrientes para serem absorvidos através das raízes (COOPER, 1996).

A utilização da hidroponia também permitiu que os problemas relacionados a microrganismos maléficos do solo fossem extinguidos, entretanto a obtenção de mudas não certificadas e uso de água não tratada pode levar patógenos até o sistema, estes são capazes de se multiplicar rapidamente devido as condições de temperaturas e umidades serem muitas vezes constantes, fazendo com que todo o sistema tenha que ser interrompido para a sua desinfecção (CORRÊA; BENTTIOL, 2009).

## 2.2. Benefícios do uso bactérias promotoras de crescimento de plantas

A utilização de inoculantes no Brasil tem aumentado em nível exponencial, apresentando um crescimento maior que 350% de 2009 a 2018 (ANPII, 2021). O uso de bactérias no ramo agrícola pode resultar em maiores rendimentos (GALINDO et al., 2016). A maioria das bactérias dos solos utilizadas são capazes de estimular a produção de fitohormônios que auxiliam no desenvolvimento das plantas (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016). O *Azospirillum* faz parte desse grupo por produzir os principais fitohormônios responsáveis pelo crescimento das plantas como a auxina, giberelina, citocinina e ácido abscísico (MEHNAZ, 2015). Essa bactéria também está relacionada a produção de poliaminas, como a cadaverina que auxilia no desenvolvimento da cultura por minimizar os efeitos negativos do estresse osmótico (CASSÁN et al., 2009).

O *A. brasilense* tem apresentado resultado significativos quando aplicados tanto no sulco de plantio quanto de maneira foliar na cultura do milho e sorgo, obtendo uma redução na necessidade de fertilizantes nitrogenados em até 25% (FUKAMI et al., 2016), na inoculação via sementes conseguiu reduzir 25% do N utilizado pela cultura do trigo (GALINDO et al., 2020), milho (GALINDO et al., 2019; SOUZA et al., 2020), outros resultados satisfatórios da associação dessas bactérias foram obtidos na cultura do arroz (TAN et al., 2015), tomate (LIMA et al., 2018), feijão (PERES et al., 2016), cana-de-açúcar (SCHULTZ et al., 2012) e em áreas de pastagens (HUNGRIA et al., 2016; SAMPAIO et al., 2021).

## 2.3. Rizobactérias e concentração de nitrato

Segundo resultados obtidos por Mantovani et al (2005), na cultura da alface foi identificado que a quantidade de nitrato acumulado nas folhas estava relacionada de forma direta com as doses crescentes de fertilizantes nitrogenados. Cavarianni (2008) também notou a correlação entre a concentração de nitrato nas folhas de rúcula as aplicações de nitrogênio na solução nutritiva, além de observar que a diferença de horário no colhimento das hortaliças teve influência na quantidade de  $\text{NO}_3^-$ . A utilização de BPCP tem se mostrado como uma alternativa viável para o melhor aproveitamento na aplicação de nitrogênio, fazendo com que ocorra redução nas



quantidades aplicadas desse fertilizante, resultando em produtos mais rentáveis e de maior qualidade (TEIXEIRA FILHO; GALINDO, 2019).

A rúcula é uma hortaliça folhosa qualificada para suprir grande parte da nossa demanda nutricional, entre os nutrientes fornecidos encontram-se o ferro, responsável por evitar problemas como a anemia, principalmente em crianças e gestantes (GERMANO, 2002). Esse elemento também é considerado um micronutriente importante para o crescimento das culturas (LAURETT, 2017).

O *Azospirillum brasilense* está relacionado ao aumento dos níveis da atividade da enzima nitrato redutase nas folhas, que tem como principal função quebrar moléculas de nitrato, que em consequência reduzem as concentrações de nitrato nas folhas (REIS JUNIOR et al., 2008), que por sua vez é prejudicial à saúde humana. Portanto, espera-se que a utilização dessa bactéria tenha como resultado maiores acúmulos de nutrientes na rúcula, aumentando a capacidade dessa hortaliça em suprir nossas exigências nutricionais.

#### **2.4. Efeitos do nitrato foliar na saúde humana**

A rúculas assim como as outras hortaliças folhosas apresentam grande demanda por nitrogênio, esse nutriente é responsável pelo ganho de massa e o crescimento foliar, entretanto doses crescentes de fertilizantes nitrogenados promovem maior concentração de nitrato nas folhas (CAVARIANNI et al., 2004). O nitrato fornecido através da dieta principalmente por vegetais de folhas verdes, tem se apresentado como alternativa viável por ser eficiente e barata, esse método possui o potencial para melhorar o quadro de pacientes diagnosticados com hipertensão, reduzindo a pressão sanguínea de modo a assegurar melhores condições cardiovasculares (GEE; AHLUWALIA, 2016).

Entretanto o consumo excessivo de nitrato seja através de água contaminada ou vegetais com elevadas concentrações desse elemento podem se tornar nocivos à saúde humana, principalmente em gestantes e em crianças de até 6 meses (SANCHEZ-ECHANIZ et al., 2001), estas podem desenvolver a cianose, conhecida também como síndrome do sangue azul, que ocorre devido a uma reação oxidativa do nitrito, derivado do nitrato, sobre o ferro contido na hemoglobina, oxidando o ferro ( $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ ), gerando anemia devido a inviabilidade na condução de oxigênio (WRIGHT; DAVISON, 1964). Outra preocupação em relação a redução do nitrato a

nitrito, ou a própria ingestão desse elemento é que combinado a outras substâncias pode ser convertido a nitrosaminas, apresentando características mutagênicas e cancerígenas já conhecidas (WALKER, 1990).

Ficou estabelecido pela organização mundial da saúde (OMS) que a dose aceitável de nitrato é de 3,7 miligramas por quilograma de peso corporal por dia (FAO/WHO, 1995). Esta quantidade diária é suficiente para conferir os benefícios provenientes do consumo de nitrato, sem que este cause prejuízos para a saúde humana (KRAEMER et al., 2020) a utilização de fertilizantes nitrogenados e os cultivares utilizados (CAVARIANNI et al., 2004) é necessário buscar maneiras de evitar concentrações excessivas de nitrato em suas folhas, acredita-se que através do uso das BPCP isso seja possível, além de promover características vantajosas para o crescimento e desenvolvimento da rúcula.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área experimental**

O experimento com *Azospirillum brasilense* em cultivo hidropônico de rúcula foi desenvolvido durante dois anos, 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. A temperatura média anual é de 23,5 °C e a umidade relativa do ar média anual entre 70 e 80%. A radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas durante o período dos experimentos (Apêndice A).

#### **3.2. Tratamentos, delineamento e condução do experimento**

Foi realizada a avaliação de doses da bactéria via solução nutritiva para averiguar os efeitos da associação das bactérias com as plantas de rúcula para amenizar o acúmulo de nitrato, melhorar a qualidade nutricional das suas folhas e aumentar produção de rúcula.

No experimento, foi aplicado o inoculante de *Azospirillum* na solução nutritiva na ocasião do transplântio das mudas, de tal forma que a inoculação foi realizada com *Azospirillum brasilense* estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de  $2 \times 10^8$  unidades formadoras de colônia (UFC) mL<sup>-1</sup>) nas doses de 0, 8, 16, 32 e 64 mL do inoculante líquido para cada 100 litros de solução nutritiva.

O experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada bancada recebeu um tratamento. As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de seis metros de comprimento e declividade de 10%. Foram transplantadas 144 mudas por bancada. Os canais de cultivos foram de perfil de PVC com sessão retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamentos das plantas a cada 25 centímetros. Cada bancada continha 6 canais de cultivo espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento individual, e um reservatório de 310 litros, a vazão utilizada foi de 1 L por minuto e o período de exposição da solução nutritiva com fluxo contínuo.

O cultivar de rúcula utilizada foi a Astro, caracterizada pelo seu ciclo precoce (ciclo médio total), moderado nível de resistência ao pendoamento precoce, plantas vigorosas, suas folhas são largas com menor quantidade de área recortadas, além de possuir qualidade visual de maços (bem formados e com folhas largas). Obtendo menor custo com a manutenção das plantas no campo, em função do ciclo mais precoce.

As mudas foram adquiridas em uma empresa especializada na produção de mudas de rúcula hidropônica da região. Estas foram transplantadas e permaneceram até o momento da colheita. A solução nutritiva utilizada era composta pelos fertilizantes concentrados Hidrogood Fert Nacional na dose de  $(0,666 \text{ g L}^{-1})$  produzida pela Hidrogood e continha 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, 0,07 de Mo e 0,02 de Zn; e também foi utilizado Nitrato de Cálcio na dose de  $0,495 \text{ g L}^{-1}$  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  $0,030 \text{ g L}^{-1}$  com as seguintes concentração de nutriente em %: 6 de Fe. Aferição e correção de condutividade elétrica e pH foram realizadas todas as manhãs, assim quando necessário foi ajustada a solução nutritiva (Apêndice B).

### **3.3. Avaliações realizadas**

As coletas foram realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio, em cada uma das ocasiões foram avaliadas a massas frescas do sistema radicular, da parte aérea e total das 8 plantas de rúcula por tratamento. Em seguida o material foi seco em estufa de ventilação de ar forçado a  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  por 72 horas, para obter as massas secas do sistema radicular, da parte aérea e total destas plantas.

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 rúcula. A determinação da concentração de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) nas folhas e raízes foi realizada conforme metodologia descrita por Silva (2009). Os acúmulos de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nas concentrações dos nutrientes.

Foi realizado a avaliação da atividade da enzima nitrato redutase pelo método (JAWORSKI, 1971). O índice de clorofila foliar foi medido em duas folhas totalmente expandidas de 8 plantas às 9h em um dia sem nuvens, utilizando um medidor de clorofila (ClorofiLOG® - modelo CFL - 1030 Falker).

### **3.4. Análise estatística**

Os resultados foram processados pela análise de variância (teste F) e foram ajustadas as equações de regressão para o efeito das doses de inoculação *Azospirillum brasilense*, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2019).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o comprimento da parte aérea e comprimento das raízes das plantas de rúcula nas três avaliações (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	CPA	CR	CPA	CR	CPA	CR
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,74	10,33	0,09	4,54	5,86	13,12
Doses	88,32**	288,02**	178,55**	183,47**	142,69**	423,62**
Resíduo	0,58	8,54	2,13	8,97	3,49	38,62
CV (%)	3,68	6,02	5,48	5,64	6,14	11,86
Linear	128,43**	579,27**	312,36**	257,84**	193,23**	27,85ns
Quadrática	96,54**	572,23**	257,34**	396,06**	315,10**	1153,2**
Erro padrão	0,38	1,46	0,73	1,50	0,93	3,11

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, ns não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Notou-se aumento do comprimento da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 42, 43 e 40 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com comprimento de 25,7; 34,3 e 37,9 cm, respectivamente (Figuras 1A, 1C e 1E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram aumento no comprimento das raízes nas três avaliações com máxima dose do inoculante calculado de 42, 40 e 36 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com comprimento de 59,5; 61,5 e 66,3 cm, respectivamente (Figuras 1B, 1D e 1F).

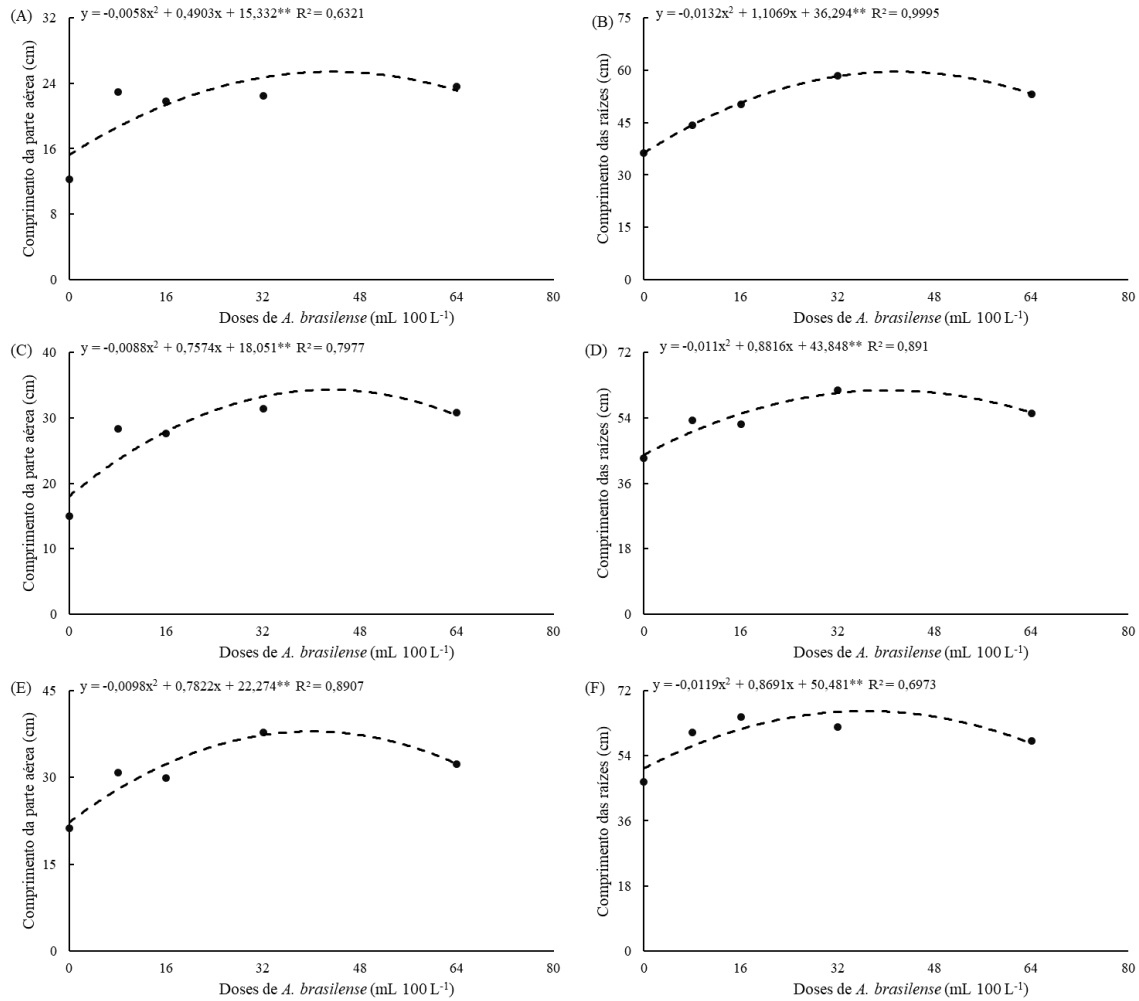


Figura 1 – Comprimento da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o comprimento das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Verificou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre a massa fresca da parte aérea e massa fresca das raízes das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos quadrados médios da massa fresca da parte aérea (MFPA) e das raízes (MFR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	MFPA	MFR	MFPA	MFR	MFPA	MFR
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	11,41	1,09	9,35	1,53	239,55	4,46
Doses	1321,05**	23,36**	7464,6**	148,32**	18967,6**	187,52**
Resíduo	35,96	0,54	51,77	1,85	297,11	6,50
CV (%)	14,68	10,90	8,58	10,21	12,22	14,72
Linear	3020,1**	45,44**	11608**	301,27**	13231**	166,05**
Quadrática	1730,2**	32,15**	13471**	223,75**	56843**	423,77**
Erro padrão	2,99	0,37	3,60	0,68	8,62	1,27

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Na terceira avaliação, (Figuras 2E e 2F). Observou-se aumento da massa fresca da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 44 e 41 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com massa de 62,5 e 135,7 g, respectivamente (Figuras 2A e 2C). As doses de *A. brasilense* proporcionaram na massa fresca das raízes um aumento até a dose do inoculante calculado de 44 e 44 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com massa de 9,5 e 20,7 g, respectivamente (Figuras 2B e 2D).



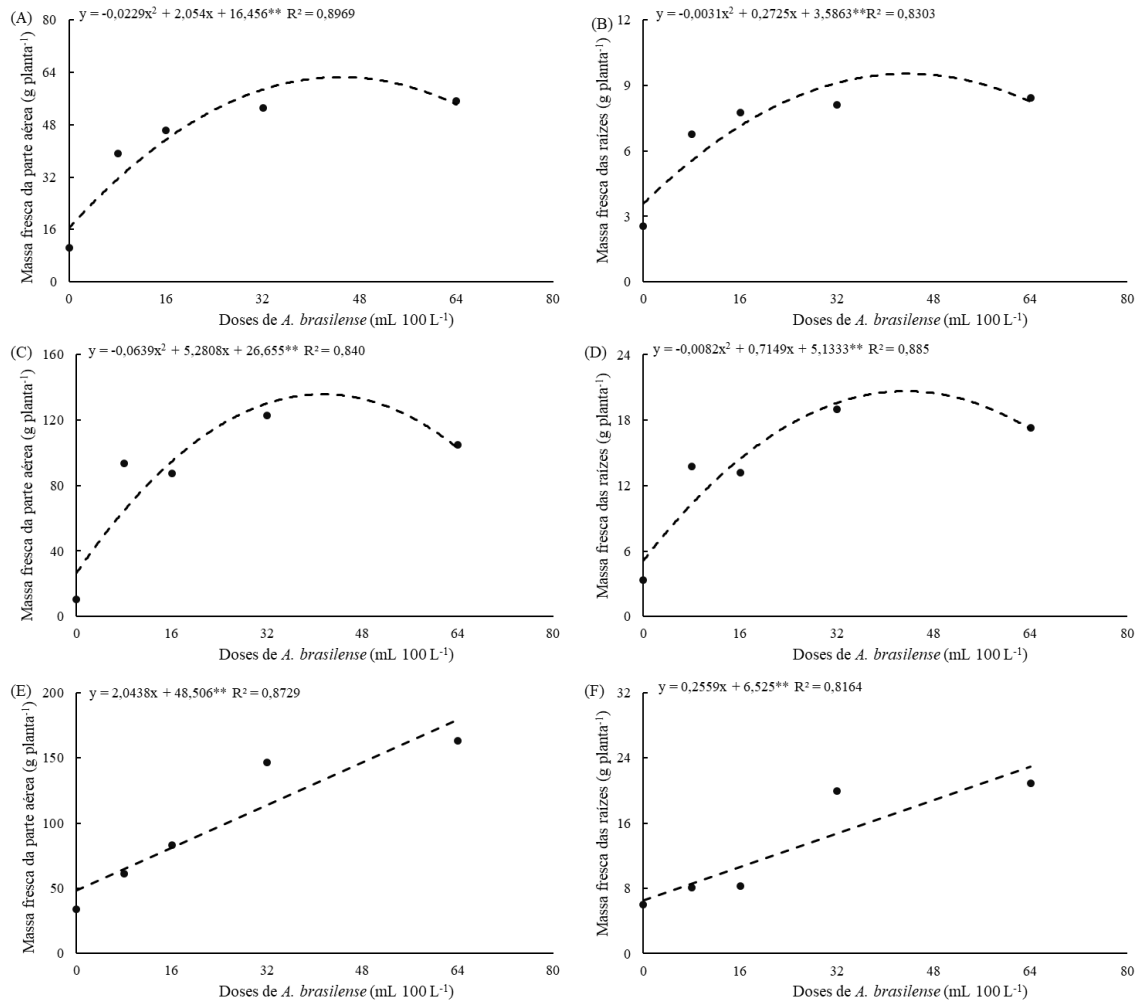


Figura 2 – Massa fresca da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e a massa fresca das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre a massa seca da parte aérea e massa seca da raiz das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos quadrados médios da massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT)

F.V.	MSPA	MSR	MSPA	MSR	MSA	MSR
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,09	0,002	0,03	0,015	0,72	0,03
Doses	4,59**	0,15**	29,89**	0,33**	39,15**	0,89**
Resíduo	0,13	0,009	0,63	0,02	1,47	0,06
CV (%)	14,57	16,34	15,41	17,90	16,11	23,71
Linear	3,86**	0,14**	15,70**	0,76**	62,26**	2,08**
Quadrática	12,41**	0,15**	82,76**	0,49**	18,78**	0,83**
Erro padrão	0,18	0,05	0,40	0,07	0,61	0,13

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Constatou-se aumento da massa seca da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 39, 37 e 44 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com massa de 3,9; 8,6 e 9,2 g, respectivamente (Figuras 3A, 3C e 3E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram nas três avaliações aumento da massa seca das raízes até a dose do inoculante calculado de 45, 42 e 58 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com massa de 0,8; 1,0 e 1,1 g, respectivamente (Figuras 3B, 3D e 3F).

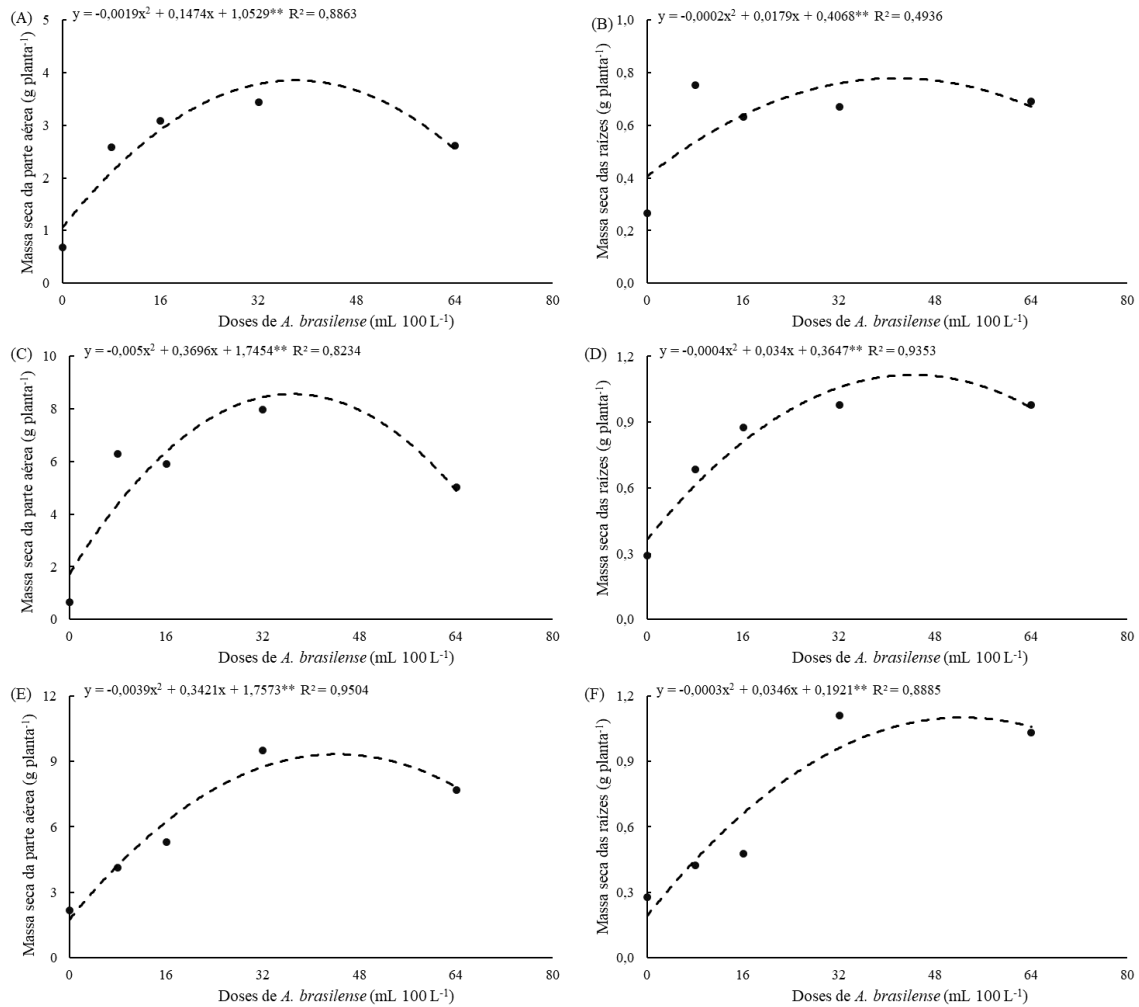


Figura 3 – Massa seca da parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e a massa seca das raízes na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Notou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o número de folhas e índice de clorofila foliar das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do número de folhas (NF) e do índice de clorofila foliar (ICF) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	NF	ICF	NF	ICF	NF	ICF
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	3,14	43,54	5,37	2,65	17,70	10,76
Doses	38,27**	144,74**	226,79**	72,91*	140,60**	262,43**
Resíduo	4,29	9,41	8,84	17,81	14,08	24,34
CV (%)	10,93	13,72	12,99	24,61	16,53	13,25
Linear	114,13**	117,89**	193,60**	43,54ns	6,01ns	100,3ns
Quadrática	33,02*	444,98**	524,56**	209,86**	432,01**	940,3**
Erro padrão	1,04	1,53	1,49	2,11	1,88	2,47

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Na terceira avaliação, reportou-se aumento do índice de clorofila foliar de acordo com aumento das doses do inoculante via solução nutritiva (Figura 6F). Houve aumento do número de folhas até a dose do inoculante calculado de 46, 40 e 38 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com o número de 23,4; 30,2 e 31,3 folhas, respectivamente (Figuras 4A, 4C e 4E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram na primeira e segunda avaliação, um aumento do índice de clorofila foliar (ICF) até a dose do inoculante calculado de 38 e 39 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com ICF de 30,2 e 32,2, respectivamente (Figuras 4B e 4D).

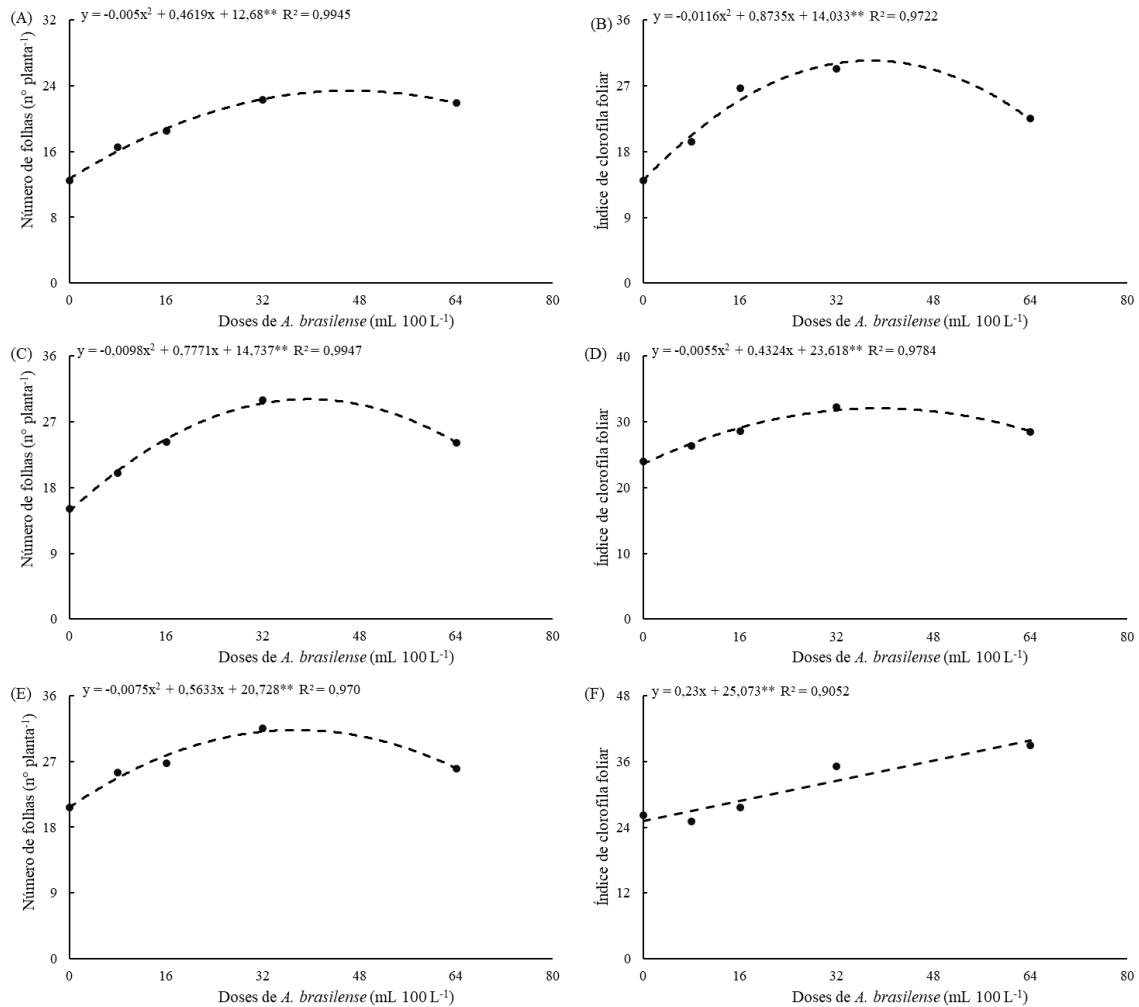


Figura 4 – Número de folhas na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o índice de clorofila foliar na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.

Fonte: Próprio autor.

O maior crescimento da parte aérea e das raízes, como no acúmulo de massas frescas e secas da parte aérea e das raízes e o número de folhas foram maiores sob a inoculação com *A. brasilense* entre as doses de 23 e 58 ml 100 L<sup>-1</sup>, porém a massa fresca da parte aérea e das raízes e o índice de clorofila foliar na terceira avaliação foi maior na dose mais alta do inoculante (Figuras 2 e 4). Estes resultados estão relacionados com a capacidade do *A. brasilense* de promover crescimento pela liberação de hormônios vegetais que estimulam o maior crescimento das plantas (MEZA et al., 2015); a liberação de auxina promove maior crescimento radicular que aumenta a absorção de água e nutrientes, ao serem transportados para a parte aérea

aumentam a atividade fotossintética das folhas (OLIVEIRA et al., 2022a). Curiosamente é observado aumento do índice de clorofila foliar das plantas inoculadas e no momento da colheita a maior eficiência fotossintética foi observada na maior dose de *A. brasilense* e, como consequência, aumenta o acúmulo de carbono nos tecidos vegetais e aumentaram a massa fresca da parte aérea e raiz. A massa fresca em rúcula é uma das características mais importantes, por ser uma hortaliça comercializável *in natura*, o maior peso fresco favorece o uso de apenas 1 planta para formação do maço, aumentando o número de plantas por maço comercializável a lucratividade pode reduzir em 50% (MOREIRA et al., 2022).

Notou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de nitrogênio e acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de nitrogênio na parte aérea (N) e de fósforo (P) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	N	P	N	P	N	P
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,000002	0,00006	0,0001	0,0002	0,002	0,00001
Doses	0,0004**	0,007**	0,09**	0,002**	0,05**	0,002**
Resíduo	0,00001	0,0002	0,002	0,0001	0,0005	0,00002
CV (%)	17,08	14,85	14,39	25,10	9,80	9,34
Linear	0,0003**	0,01**	0,04**	0,002**	0,01**	0,0005**
Quadrática	0,001**	0,02**	0,26**	0,006**	0,15**	0,006**
Erro padrão	0,002	0,006	0,02	0,005	0,01	0,002

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Verificou-se aumento do acúmulo de nitrogênio da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 32, 34 e 32 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,029; 0,446 e 0,362 g N por planta, respectivamente (Figuras 5A, 5C e 5E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram nas três avaliações um aumento do acúmulo de fósforo da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 39, 41 e 31 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A.*

*brasilense* com 1,742; 0,078 e 0,068 g P por planta, respectivamente (Figuras 5B, 5D e 5F).

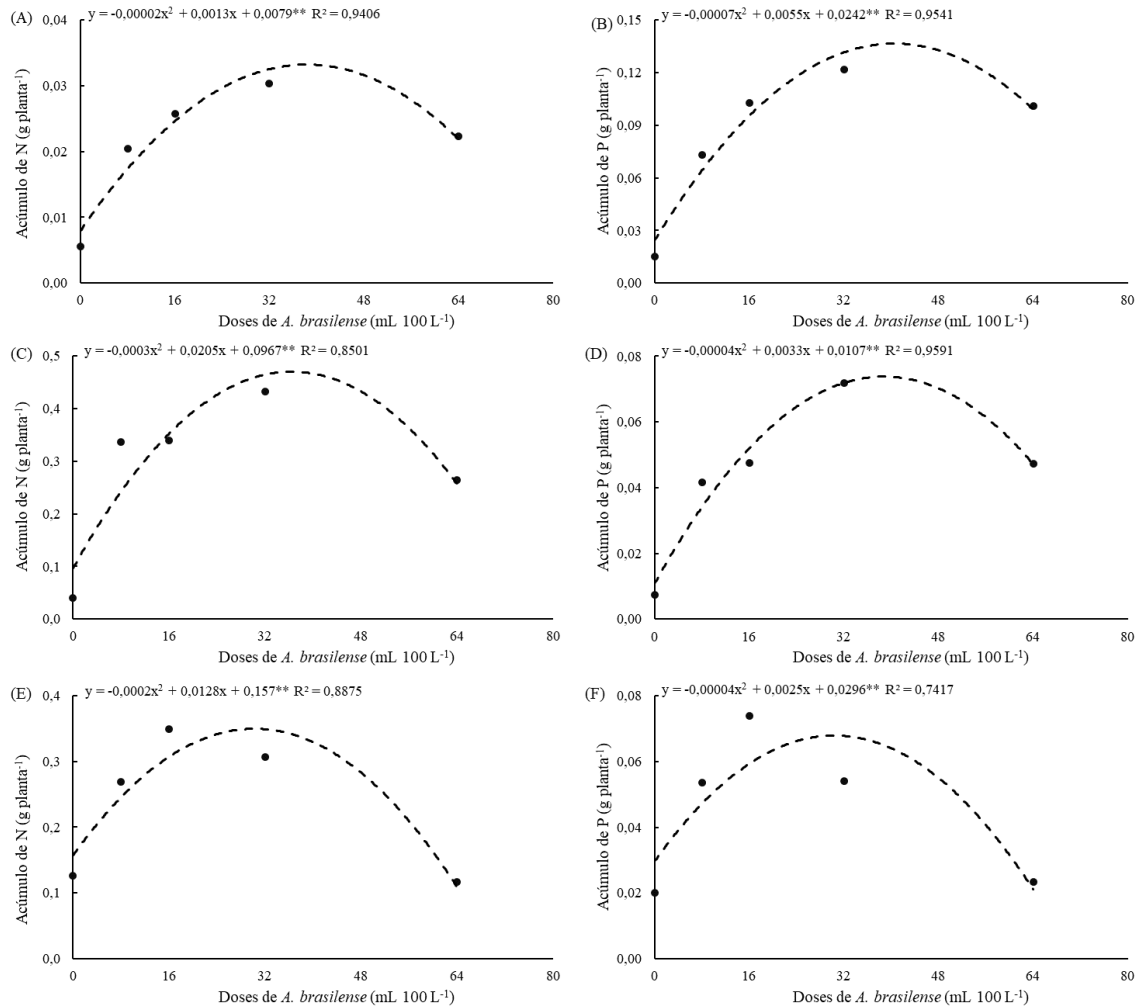


Figura 5 – Acúmulo de N na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de P na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Constatou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de potássio e acúmulo de enxofre na parte aérea das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de potássio na parte aérea (K) e de enxofre (S) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplante (DAT).

F.V.	K	S	K	S	K	S
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,00009	0,00004	0,006	0,00009	0,0006	0,00001
Doses	0,003**	0,0002**	0,13**	0,003**	0,20**	0,008**
Resíduo	0,0002	0,00003	0,02	0,0001	0,002	0,00007
CV (%)	24,25	28,89	29,42	19,70	10,87	9,55
Linear	0,004**	0,00002 <sup>ns</sup>	0,16**	0,002**	0,02*	0,002**
Quadrática	0,005**	0,00008*	0,35**	0,01**	0,62**	0,02**
Erro padrão	0,007	0,003	0,06	0,005	0,02	0,004

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Houve aumento do acúmulo de potássio da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 41, 42 e 34 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,091; 1,128 e 0,692 g K por planta, respectivamente (Figuras 6A, 6C e 6E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram nas três avaliações um aumento do acúmulo de enxofre da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 30, 35 e 32 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,013; 0,088 e 0,140 g S por planta, respectivamente (Figuras 6B, 6D e 6F).



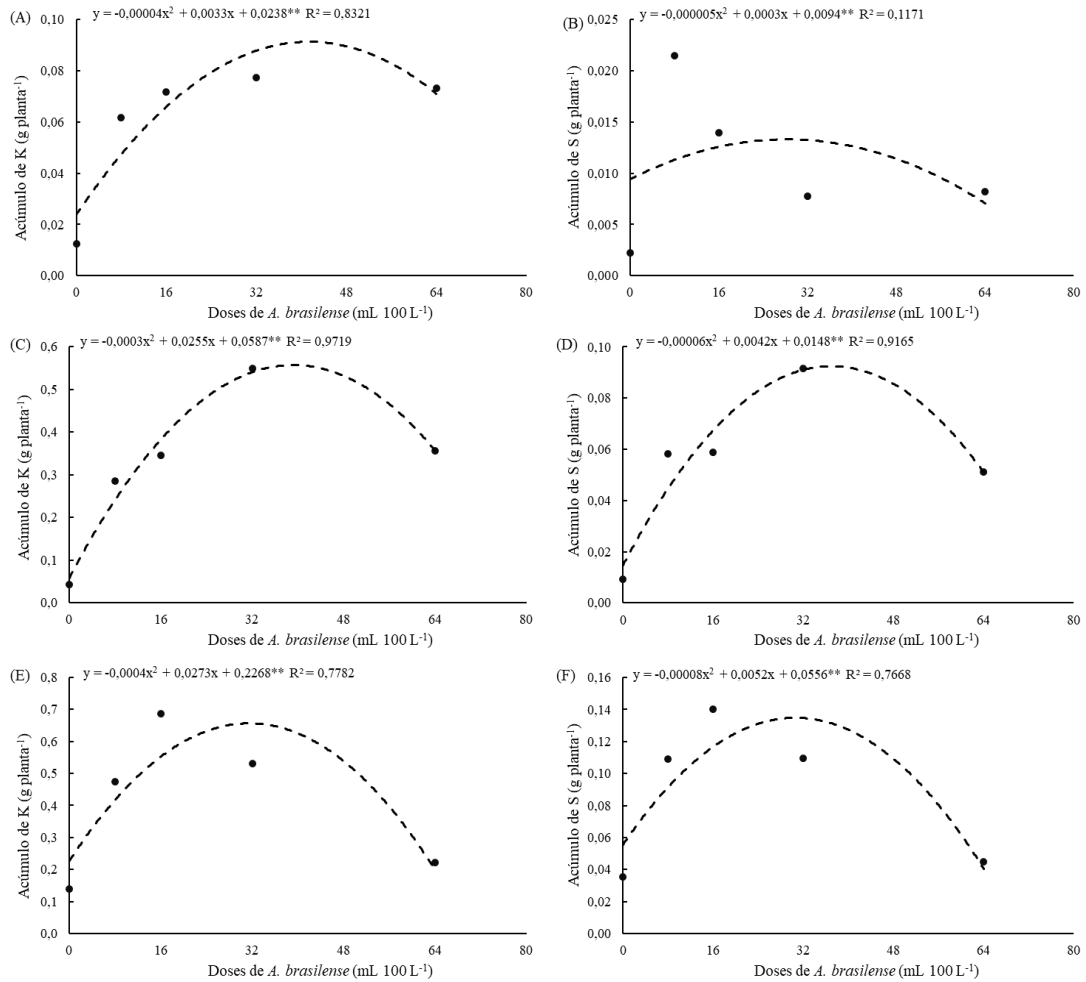


Figura 6 – Acúmulo de K na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de S na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Notou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de cálcio e acúmulo de magnésio na parte aérea das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de cálcio na parte aérea (Ca) e de magnésio (Mg) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,00001	0,000002	0,001	0,00005	0,00002	0,000002
Doses	0,0004**	0,00002**	0,02**	0,001**	0,02**	0,001**
Resíduo	0,00002	0,0000009	0,001	0,00005	0,0002	0,00002
CV (%)	17,69	17,42	26,15	23,29	11,42	14,16
Linear	0,0002*	0,000003ns	0,01**	0,0008**	0,002**	0,0003**
Quadrática	0,001**	0,00006**	0,05**	0,003**	0,06**	0,003**
Erro padrão	0,002	0,0005	0,02	0,003	0,007	0,002

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Observou-se aumento do acúmulo de cálcio da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 35, 40 e 42 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,035; 0,203 e 0,254 g Ca por planta, respectivamente (Figuras 7A, 7C e 7E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram nas três avaliações um aumento do acúmulo de magnésio da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 37, 37 e 28 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,008; 0,048 e 0,046 g Mg por planta, respectivamente (Figuras 7B, 7D e 7F).

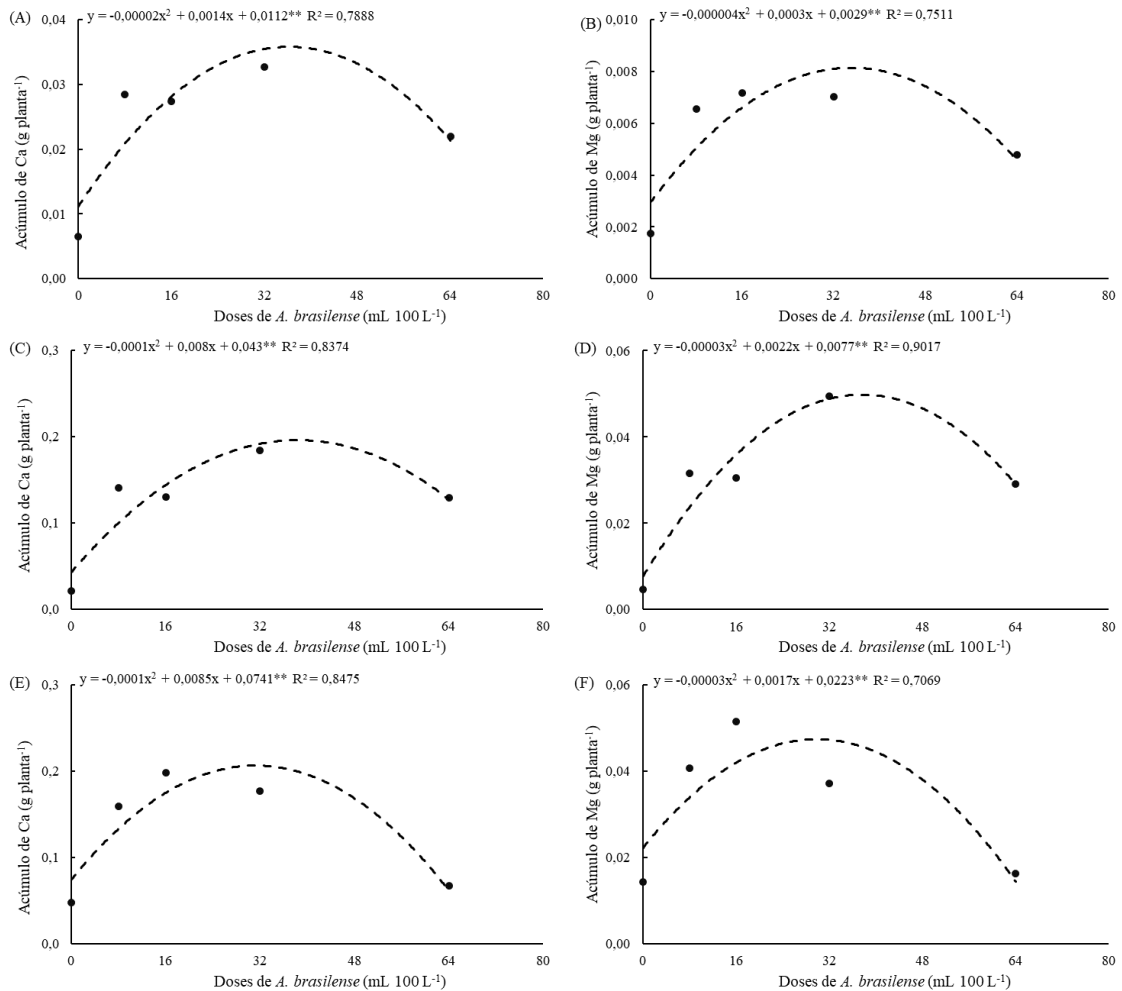


Figura 7 – Acúmulo de Ca na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Mg na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Verificou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de boro na parte aérea das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliação. Sendo que houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de cobre na primeira e segunda avaliação. Na terceira avaliação não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para as doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de cobre na parte aérea das plantas de rúcula (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de boro aérea (B) e de cobre (Cu) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	B	Cu	B	Cu	B	Cu
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,0005	0,00000007	0,0002	0,0007	0,02	0,02
Doses	0,03**	0,0000001**	0,09**	0,007**	0,36*	0,04ns
Resíduo	0,0008	0,00000001	0,005	0,0009	0,07	0,02
CV (%)	14,82	28,13	24,71	31,56	31,65	32,80
Linear	0,02**	0,0000ns	0,11**	0,002ns	0,26ns	0,007ns
Quadrática	0,08**	0,00001**	0,23**	0,01**	0,35*	0,01ns
Erro padrão	0,014	0,00005	0,03	0,01	0,13	0,08

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Reportou-se aumento do acúmulo de boro da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 29, 34 e 27 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,246; 0,426 e 0,609 mg B por planta, respectivamente (Figuras 8A, 8C e 8E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram um aumento do acúmulo de cobre da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 50 e 38 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,0007 e 0,140 mg Cu por planta, respectivamente (Figuras 8B e 8D).

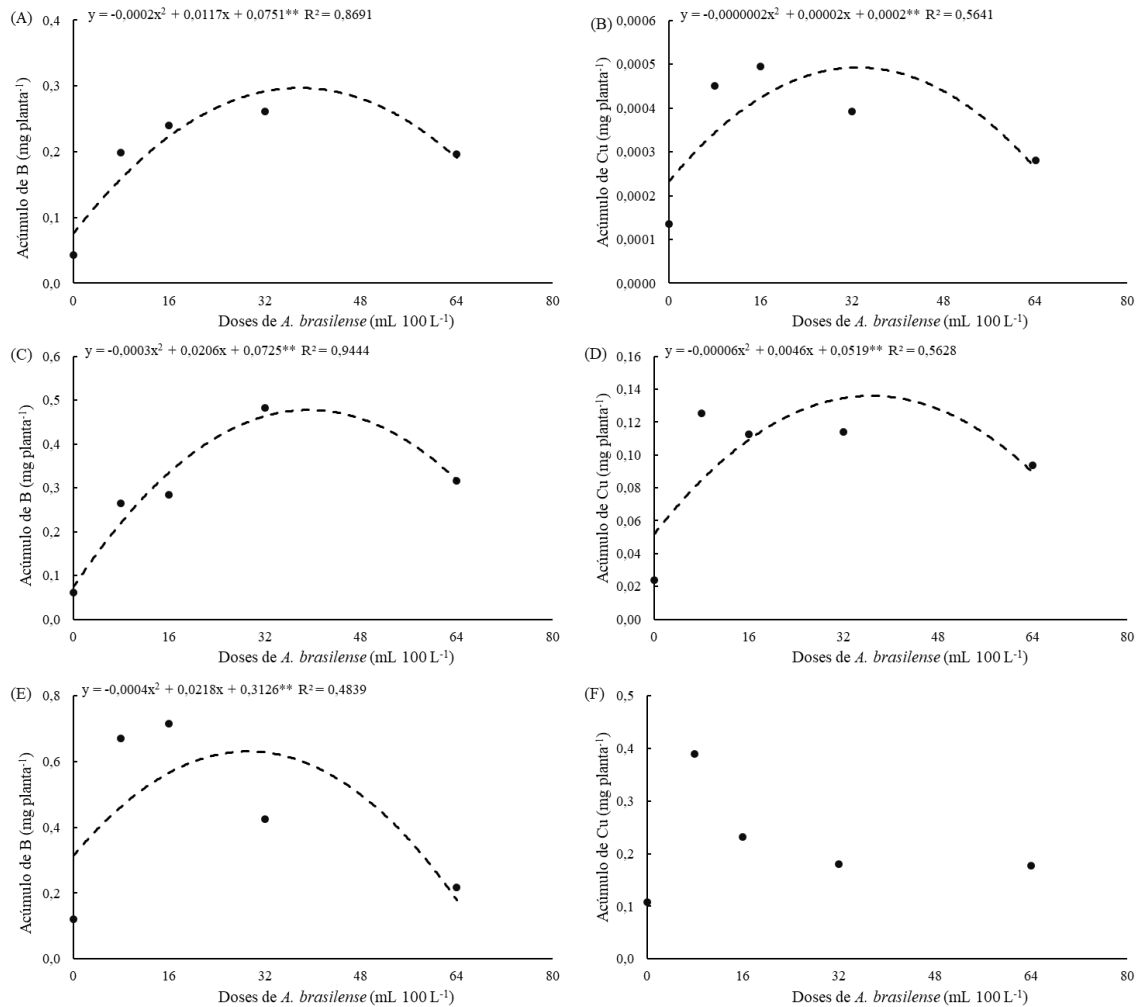


Figura 8 – Acúmulo de B na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Cu na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de ferro na parte aérea das plantas de rúcula na primeira avaliação. Porém, constatou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de ferro na parte aérea das plantas na segunda e terceira avaliação, e acúmulo de manganês na primeira, segunda e terceira avaliações (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de ferro aérea (Fe) e de manganês (Mn) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
	17 DAT		24 DAT		31 DAT	
Bloco	0,000005	0,0000007	0,68	0,11	0,13	0,004
Doses	0,000006 <sup>ns</sup>	0,000009 <sup>**</sup>	3,36 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	2,99 <sup>**</sup>	1,15 <sup>**</sup>
Resíduo	0,000002	0,0000007	0,28	0,07	0,52	0,008
CV (%)	21,08	22,28	29,13	26,23	33,52	9,28
Linear	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	5,81 <sup>**</sup>	0,66 <sup>**</sup>	2,75 <sup>*</sup>	0,76 <sup>**</sup>
Quadrática	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>**</sup>	6,50 <sup>**</sup>	2,78 <sup>**</sup>	6,40 <sup>**</sup>	2,19 <sup>**</sup>
Erro padrão	0,0007	0,0004	0,26	0,13	0,36	0,04

<sup>\*\*</sup> significativo a 1%, <sup>\*</sup> significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Verificou-se aumento do acúmulo de ferro da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 42 e 27 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 2,964 e 2,875 mg Fe por planta, respectivamente (Figuras 9C e 9E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram um aumento do acúmulo de manganês da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 50, 38 e 28 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,0007; 1,632 e 1,388 mg Mn por planta, respectivamente (Figuras 9B, 9D e 9F).

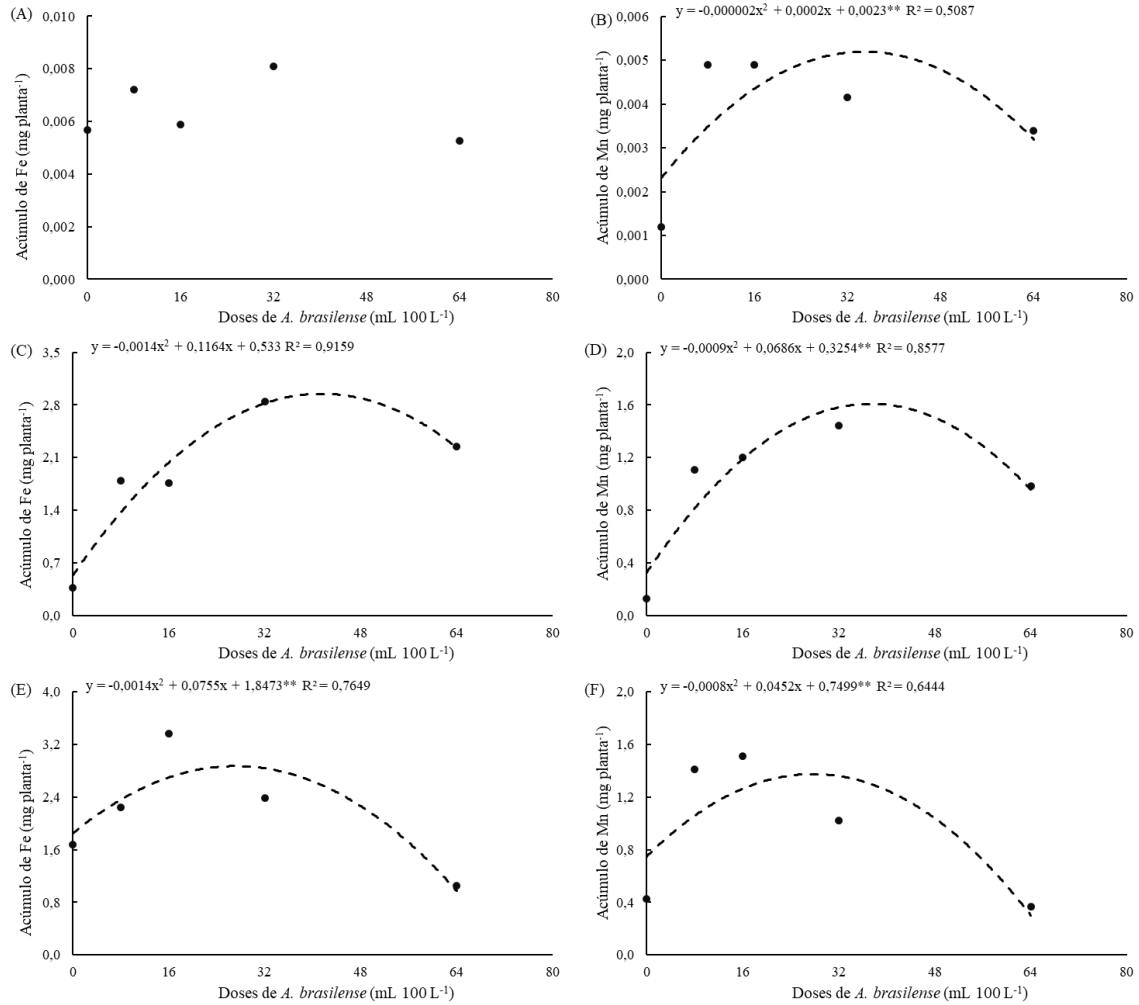


Figura 9 – Acúmulo de Fe na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de Mn na parte aérea na primeira avaliação (B), segunda avaliação (D), terceira avaliação (F) das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva. Fonte: Próprio autor.

Notou-se efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de zinco na parte aérea das plantas de rúcula na primeira, segunda e terceira avaliação, e no acúmulo de amônio e nitrato e na atividade da enzima nitrato redutase na terceira avaliações (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de zinco aérea (Zn) nas 3 avaliações realizadas aos 17, 24 e 31 dias após o transplântio (DAT) e do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) realizadas aos 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	Zn	Zn	Zn	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	NR
	17 DAT	24 DAT	31 DAT	31 DAT		
Bloco	0,000001	0,19	0,003	12,98	8,99	0,00006
Doses	0,00002**	1,43**	0,92**	742,57**	317,31**	1,42**
Resíduo	0,000002	0,12	0,009	8,40	8,66	0,0008
CV (%)	20,11	27,52	10,13	13,94	23,61	2,36
Linear	0,000000ns	0,36ns	1,32**	27,28ns	2,51ns	0,26**
Quadrática	0,00003**	3,84**	0,51**	2253,90**	591,82**	2,02**
Erro padrão	0,0006	0,17	0,05	1,45	1,47	0,004

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Houve aumento do acúmulo de zinco da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 33, 35 e 18 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,007; 1,923 e 1,155 mg Zn por planta, respectivamente (Figuras 10A, 10C e 10E). As doses de *A. brasilense* proporcionaram um aumento do acúmulo de amônio e nitrato da parte aérea até a dose do inoculante calculado de 32 e 34 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 35,885 e 20,53 mg  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  por planta, respectivamente (Figuras 10B e 10D). A maior atividade da enzima nitrato redutase nas folhas estimada foi de 2,94  $\mu\text{mol}$  de  $\text{NO}_3^- \text{ h}^{-1}$  g MF na dose calculada de 35 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* (Figura 10H).



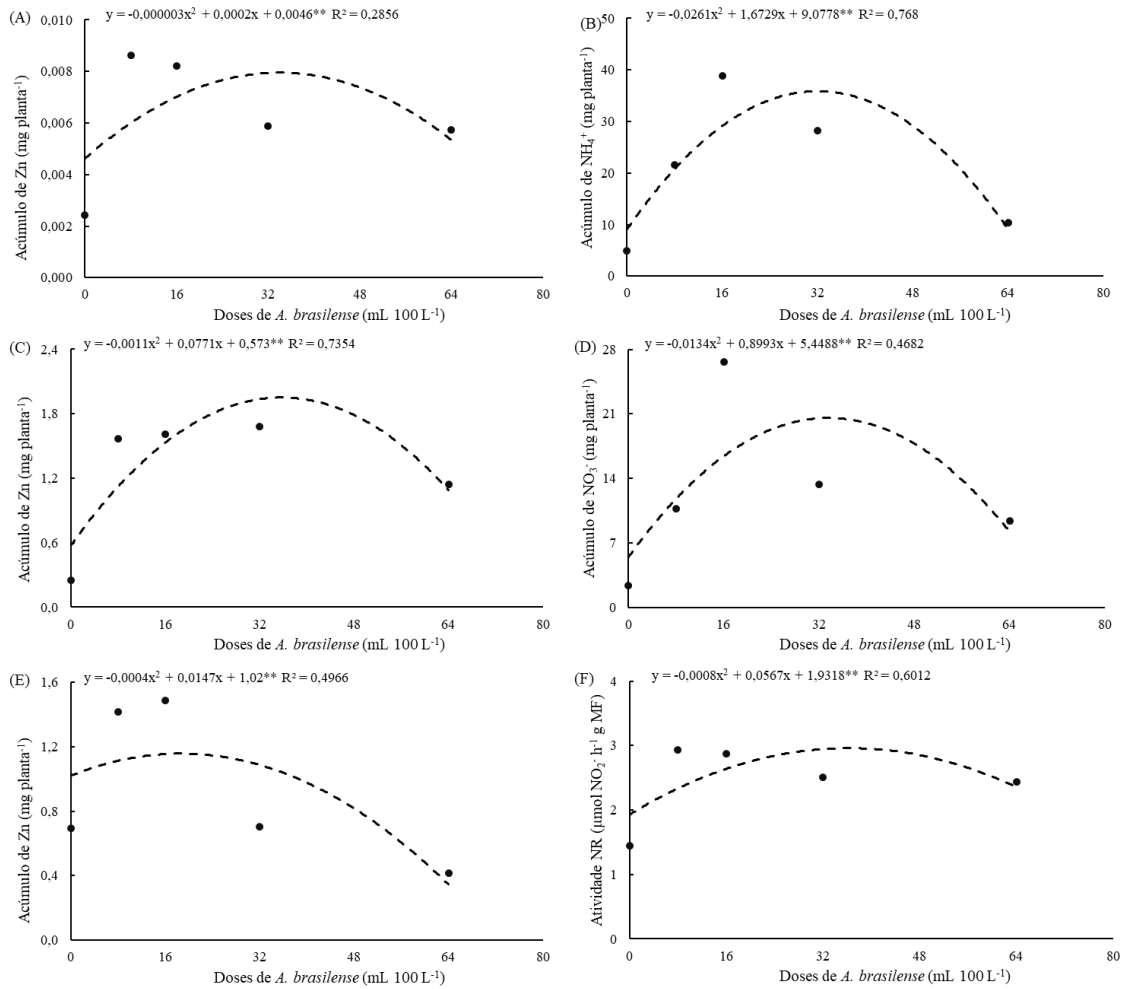


Figura 10 – Acúmulo de Zn na parte aérea na primeira avaliação (A), segunda avaliação (C), terceira avaliação (E), e o acúmulo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na parte aérea (B), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na parte aérea (D) e atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas folhas (F) na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.

Fonte: Próprio autor.

O aumento da massa fresca e seca das plantas estão associadas a melhor nutrição das plantas de rúcula, com aumento nos acúmulos de N-P-K-S-Ca-Mg-B-Cu-Fe-Mn-Zn por planta em 177-269-393-314-297-314-262-493-101-254-114%, respectivamente na dose ótima da inoculação com *A. brasilense* em relação ao não inocular, no momento da colheita (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10). O aumento da eficiência da absorção dos nutrientes pode estar relacionado ao aumento do crescimento das raízes, produção de sideróforos, produção de compostos secundário e de fitormônios na planta (TORTORA et al., 2011). O aumento na eficiência de absorção de N, P, K,

Ca, Cu, Fe, Mn e Zn é um efeito anteriormente relatado na cultura da alface hidropônica, onde a inoculação de *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo destes nutrientes em relação a não inoculação (MOREIRA et al., 2022).

Como a inoculação foliar com *A. brasilense* em plantas de rúcula hidropônica melhora a nutrição da planta, aumenta a absorção e a translocação de N, P, K, Ca, Mg, S, e Zn, conseqüentemente, aumentando a concentração desses nutrientes na parte aérea (OLIVEIRA et al., 2022a). A inoculação com *A. brasilense* foi anteriormente relatada como forma de realizar a biofortificação agrônômica com aumento da absorção e concentração de Zn em feijão comum (JALAL et al., 2021), Zn em milho e trigo (GALINDO et al., 2021), concentração de Fe em milho (SCOTT et al., 2020), Zn em trigo (JALAL et al., 2022), Zn e Fe em alface (MOREIRA et al., 2022) e Zn em rúcula (OLIVEIRA et al., 2022a).

Na presente pesquisa verificou-se o aumento do acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  até as doses de 32 e 34 ml  $100 \text{ L}^{-1}$  de *A. brasilense* em 694 e 1040% respectivamente, com aumento da atividade da enzima nitrato redutase de 102% na dose de 35 ml do inoculante (Figura 10). O aumento da atividade da enzima nitrato redutase nas folhas agem no metabolismo do nitrato, e proporcionam menores concentrações foliares de  $\text{NO}_3^-$ , porém, devido ao maior acúmulo de massa seca da parte aérea nas maiores doses de *A. brasilense* houve o aumento do acúmulo do  $\text{NO}_3^-$  na parte aérea. Em outros estudos foi observado menor acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  na parte aérea das plantas de alface hidropônica sob inoculação foliar com *A. brasilense* (MOREIRA et al., 2022) e em rúcula inoculado com *A. brasilense* via foliar (OLIVEIRA et al., 2022a). Possivelmente o resultado obtido foi diferente pelo aumento 410% na massa seca da parte aérea; por outro lado, na pesquisa realizada com inoculação foliar em rúcula hidropônica, teve um aumento de apenas 5% na massa seca da parte aérea, então o efeito da menor concentração de  $\text{NO}_3^-$  é facilmente observado (OLIVEIRA et al., 2022a).

Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio nas raízes das plantas de rúcula na terceira avaliações (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de nitrogênio nas raízes (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na avaliação realizada aos 31 dias após o transplântio (DAT).

F.V.	N	P	K	S	Ca	Mg
	31 DAT					
Bloco	0,00002	0,000002	0,000008	0,000002	0,000002	0,0000009
Doses	0,0009**	0,0001**	0,0007**	0,0001**	0,0001**	0,00003**
Resíduo	0,00003	0,000003	0,00002	0,000004	0,000003	0,0000008
CV (%)	20,34	22,83	20,76	21,45	23,83	18,94
Linear	0,0005**	0,00002*	0,0002*	0,00005*	0,00001ns	0,00002**
Quadrática	0,002**	0,0003**	0,002**	0,0003**	0,0004**	0,00009**
Erro padrão	0,003	0,0008	0,002	0,0009	0,0009	0,0005

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Verificou-se aumento do acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas raízes até a dose do inoculante calculado de 25, 30 e 37 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,036; 0,012 e 0,040 g N, P e K por planta, respectivamente (Figuras 11A, 11B e 11C). As doses de *A. brasilense* proporcionaram aumento do acúmulo de enxofre, cálcio e magnésio nas raízes até a dose do inoculante calculado de 28, 35 e 30 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,013; 0,015 e 0,007 g S, Ca e Mg por planta, respectivamente (Figuras 11D, 11E e 11F).

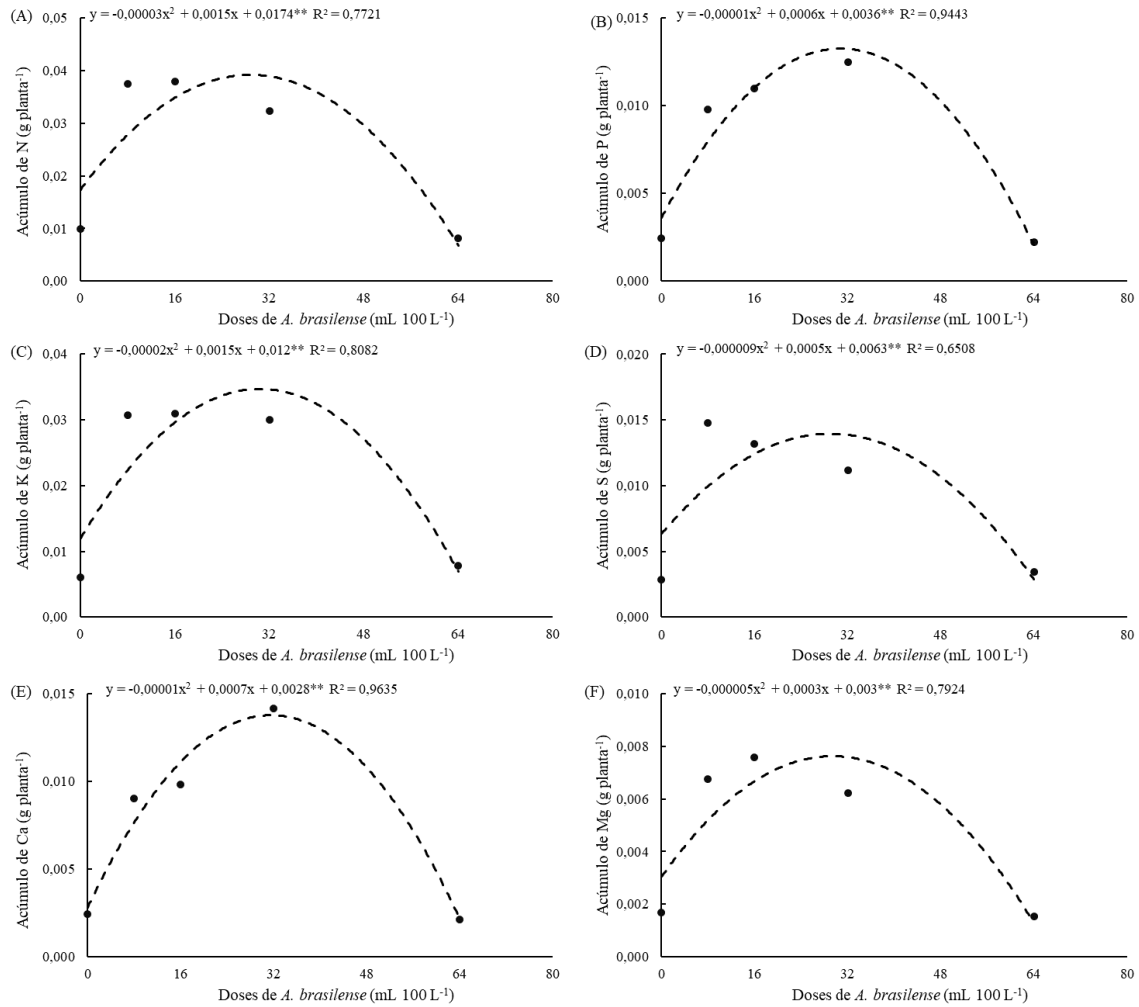


Figura 11 – Acúmulo de N (A), P (B), K (C), S (D), Ca (E) e Mg (F) nas raízes na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.

Fonte: Próprio autor.

Houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) das doses de *A. brasilense* sobre o acúmulo de boro, cobre, ferro, manganês, zinco, amônio, nitrato e na atividade da enzima nitrato redutase nas raízes das plantas de rúcula na terceira avaliações (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância dos quadrados médios do acúmulo de boro nas raízes (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e da atividade da enzima nitrato redutase (NR) na avaliação realizada aos 31 dias após o transplântio.

F.V.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NR
	31 DAT							
Bloco	0,0000	0,0003	0,18	0,002	0,009	0,10	0,02	0,0002
Doses	0,002**	0,06**	4,50**	0,13**	0,02**	5,69**	0,53**	0,14**
Resíduo	0,000	0,007	0,120	0,004	0,000	0,160	0,020	0,000
CV (%)	23,42	17,80	18,54	25,60	22,89	20,17	26,88	2,84
Linear	0,002**	0,06**	3,80**	0,01ns	0,03**	3,31**	0,09ns	0,006**
Quadrática	0,003**	0,02**	10,81**	0,45**	0,03**	9,73**	1,76**	0,24**
Erro padrão	0,004	0,01	0,17	0,03	0,015	0,19	0,07	0,004

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, ns não significativo, CV coeficiente de variação, F.V. fonte de variação.

Fonte: Próprio autor.

Observou-se aumento do acúmulo de boro, cobre e ferro nas raízes até a dose do inoculante calculado de 23, 10 e 28 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 11,667; 0,225 e 2,805 mg B, Cu e Fe por planta, respectivamente (Figuras 12A, 12B e 12C). As doses de *A. brasilense* proporcionaram um aumento do acúmulo de manganês, zinco, amônio e nitrato das raízes até a dose do inoculante calculado de 29, 23, 28 e 32 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* com 0,415; 0,181; 2,898 e 0,996 mg Mn, Zn, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por planta, respectivamente (Figuras 12D, 12E, 12F e 12G). A maior atividade da enzima nitrato redutase nas raízes foi estimada em 0,42 μmol de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> h<sup>-1</sup> g MF na dose calculada de 29 ml 100 L<sup>-1</sup> de *A. brasilense* (Figura 12H).

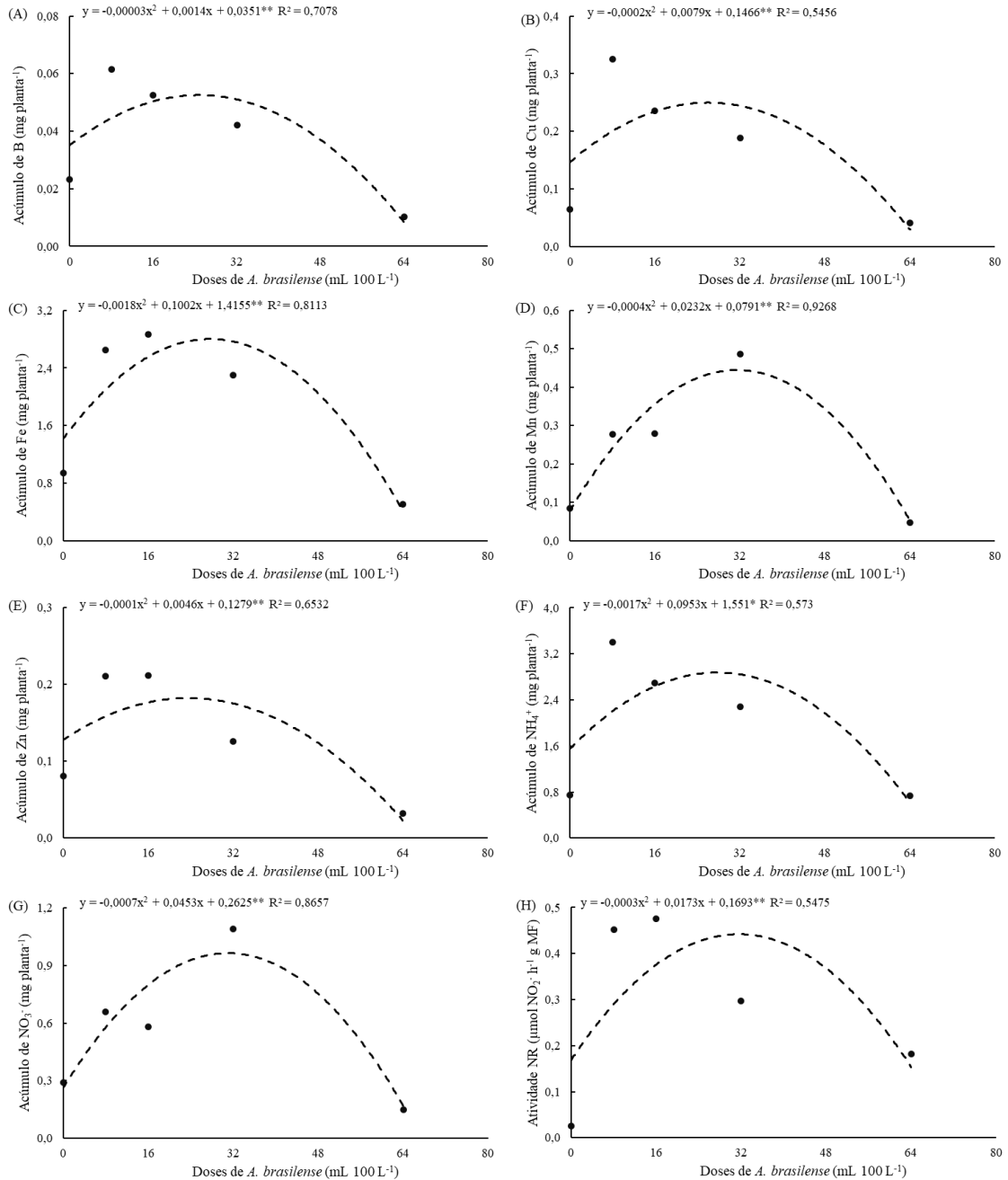


Figura 12 – Acúmulo de B (A), Cu (B), Fe (C), Mn (D), Zn (E), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (F), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (G) e a atividade da enzima nitrato redutase (NR) nas raízes (H) na terceira avaliação das plantas de rúcula em sistema hidropônico NFT em resposta a doses de *Azospirillum brasilense* via solução nutritiva.

Fonte: Próprio autor.

O aumento da massa fresca e seca das raízes estão associadas a melhor captação de nutrientes e nutrição das plantas de rúcula, com aumento no acúmulo de macro e micronutrientes e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas raízes na dose ótima da inoculação com *A.*

*brasiliense* em relação ao não inocular. A maior expansão radicular proporciona maior captação e eficiência da absorção de água e nutrientes, as raízes têm a capacidade de armazenar carboidratos e nutrientes para suprir as necessidades da planta por uma demanda posterior, sendo uma importante válvula de escape em situações de estresse. Além disso, o aumento da atividade da enzima nitrato redutase nas raízes podem estar associados a redução do  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  no citosol pelas atividades da enzima nitrato redutase onde entra nos plastídios ou cloroplastos para reduzi-lo à amônia que foi fixada via glutamato, sintase/glutamina sintase em aminoácidos (YONEYAMA e SUZUKI, 2019). A glutamina e o glutamato serviram como substrato para transaminação e produção de aminoácidos utilizados na ingestão de proteínas (TAIZ et al. 2017), explicando o maior acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  em relação ao de  $\text{NO}_3^-$  nas raízes e na parte aérea das plantas de rúcula.

## 5. CONCLUSÃO

A dose indicada do inoculante de *A. brasilense* foi de 64 ml 100 L<sup>-1</sup> de solução nutritiva, por proporcionar maior massa fresca da parte aérea das plantas de rúcula hidropônica, que é a parte da planta comercializável e que proporcionará maior lucratividade ao produtor rural. O maior crescimento e acúmulo de massas das plantas de rúcula foi obtido utilizando as doses entre 36 e 64 ml 100 L<sup>-1</sup> de solução nutritiva.

O maior acúmulo de nutrientes no momento da colheita foi obtido entre as doses de 18 a 42 ml de inoculante com *A. brasilense*, sendo as doses com maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas de rúcula em sistema hidropônico. A maior atividade da enzima nitrato redutase nas folhas foi observada na dose de 35 ml do inoculante contendo *A. brasilense* com acréscimo de 102% em relação a não inoculação. Também houve acréscimo de 358% do acúmulo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, resultado da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> associado a maior atividade da enzima nitrato redutase.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J. L. **Olericultura geral**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia- Editora UFSM, 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.

Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes – ANPII. Estatísticas; 2021 [acesso 07 abr 2021.]. Disponível em: <http://www.anpii.org.br/estatisticas/>.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. In current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016.

CASSAN, F.; MAIALE, S.; MASCIARELLI, O.; VIDAL, A.; LUNA, V.; RUIZ, O. Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 12-19, 2009.

CAVARIANNI, R. L.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CAZETTA, J. O.; MAY, A.; CORRADI, M. M. Concentrações de nitrogênio na solução nutritiva e horários de colheita no teor de nitrato em rúcula. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 5, 2008.

CAVARIANNI, R. L.; CONRADI, M. M.; CECÍLIO FILHO A.B.; MAY, A.; CAZETTA, J.O. Acúmulo de nitrato em cultivares de rúcula em função da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE HORTICULTURA**. 2004.

COOPER, A. **The ABC of NFT**. Narrabeen: Casper Publications, 1996. 171 p.

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

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019. FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; Hungria, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **Amb Express**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2016.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; PAGLIARI, P. H.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; MEGDA, M. M.; NOGUEIRA, T. A. R.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. Maize yield response to nitrogen rates and sources associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v.111, p.1985-1997, 2019.

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.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; FERNANDES, G. C.; BIAGINI, A. L. C.; ROSA, P. A. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific Reports**, v.10, a.6160. 2020.

GEE, L. C.; AHLUWALIA, A. Dietary nitrate lowers blood pressure: epidemiological, pre-clinical experimental and clinical trial evidence. **Current Hypertension Reports**, v. 18, n. 2, p. 17, 2016.

GERMANO, R. M. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Importância do ferro em nutrição humana. **Nutrire - Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 24, p. 85-104, 2002.

GRANGEIRO LC; OLIVEIRA F; NEGREIROS M; MARROCOS S; LUCENA R; OLIVEIRA R. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 11-16, 2011.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria spp.* With the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, 2016.

JALAL, A. Agronomic biofortification of grain crops with zinc in association with plant growth-promoting bacteria. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia (FEIS), Universidade de Ilha Solteira, 2022. Acesso em: 13 jul 2023. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/238501>>.

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

KRAEMER, C.; ADAMI, F.; ROSOLEN, M.; SOUZA, C.; MARMITT, L.; OLIVEIRA, E. Nitrito, nitrito, cálcio, potássio e sódio em hortaliças orgânicas, hidropônicas e convencionais. **Revista Uningá Review**, v. 35, 2020.

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. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 1, p. 45-52, 2017.

LIMA, N. S. A.; VOGEL, G. F.; FEY, R. Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 4, p. 81-87, 2018.

LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; AMARAL, A. D.; MÜLLER, L.; TORRES, M. G.; MENTGES, L. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, v.38, p.2388- 2394, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.  
MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura brasileira**, v. 23, n. 3, p. 758-762, 2005.

MEDEIROS, M. C. L.; MEDEIROS, D. C.; LIBERALINO FILHO, J. Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 85-89, 2007.

MEHNAZ, S. *Azospirillum*: a biofertilizer for every crop. In: **Plant microbes symbiosis: Applied facets**. Springer, New Delhi, 2015. P. 297-314.

MENEGAES, J. F.; FILIPETTO, J. E.; RODRIGUES, A. M.; SANTOS, O. S. Produção sustentável de alimentos em cultivo hidropônico. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 102-108, 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, p.1- 12, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03047-w>

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016.

PERES, A. R., RODRIGUES, R. A. F., ARF, O., PORTUGUAL, J. R., CORSINI, D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 198-207, 2016.

PURQUERIO, L. F. V.; DEMANT, L. A. R.; GOTO, R.; BOAS, R. L. V. Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 464-470, 2007.

REIS JUNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHDO, A. T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum brasilense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1139-1146, 2008.

RODRIGUES, P. A importância nutricional das hortaliças. Saúde e longevidade, Brasília, v.1, n. 2, p. 7-9. Abril, 2012. Disponível em: <[HTTPS://WWW.EMBRAPA.BR/DOCUMENTS/1355126/2250572/REVISTA\\_ED2.PDF/74BBE524-A730-428F-9AB0-AD80DC1CD412/](HTTPS://WWW.EMBRAPA.BR/DOCUMENTS/1355126/2250572/REVISTA_ED2.PDF/74BBE524-A730-428F-9AB0-AD80DC1CD412/)>. Acesso em: 08 abr. 2021.

SAMPAIO, F.A.R.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; OLIVEIRA, C.E.S.; JALAL, A.; BOLETA, E. H. M.; LIMA, B. H.; ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; SOUZA, J. S.

Nitrogen supply associated with rhizobacteria in the first productive cycle of Marandu grass. **Journal Crop Science and Biotechnology**, v.24, n.2, p.1-11, 2021.

SANCHEZ-ECHANIZ, J.; BENITO-FERNÁNDEZ, J.; MINTEGUI-RASO, S. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in infants. **Pediatrics**, v. 107, n. 5, p. 1024-1028, 2001.

SANTOS, V. N. **Qualidade de alface e rúcula comercializadas in natura no município de Petrolina - PE**. TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, p. 28. 2016.

SCHULTZ, N.; MORAIS R. F., SILVA J.A.; BAPTISTA, R. B.; OLIVEIRA, R. P.; LEITE, J. M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JUNIOR, J. B.; ALVES B. J. R.; BALDANI, J. I.; BODDEY R. M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Avaliação agrônômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 261-268, 2012.

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, F. C. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SOUZA, E. M.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; SILVA, P. R. T.; SANTOS, A. C.; FERNANDES, G. C. Does nitrogen application associated with *Azospirillum brasilense* inoculation influence corn nutrition and yield?. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.53-59, 2019.

TAN K. Z.; RADZIAH, O.; HALIMI, M.S.; KHAIRUDDIN, A.R.; SHAMSUDDIN, Z.H. Assessment of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and rhizobia as multi-strain biofertilizer on growth and N<sub>2</sub> fixation of rice plant. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1257-1264, 2015.

TEIXEIRA FILHO, M. M.; GALINDO, F. S. Inoculação de bactérias com foco na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento vegetal. Cap.11, in: SEVERIANO, E. C.; MORAES, M. F.; PAULA, A. M. **Tópicos em Ciência do Solo** - Volume X, ed.1, editora, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 728p. 2019.

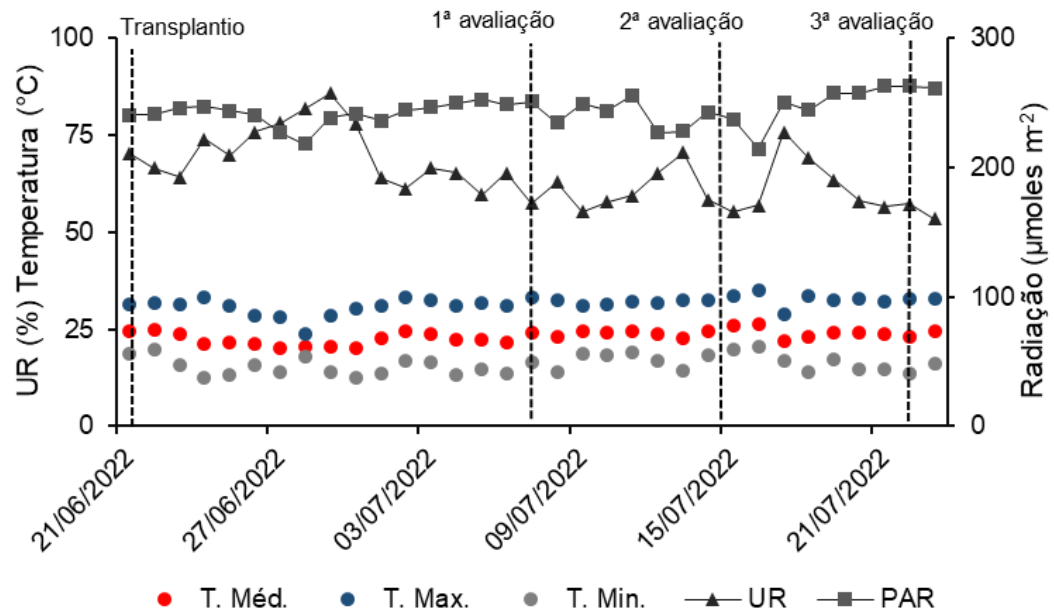
TORTORA, M. L., DÍAZ RICCI, J. C, PEDRAZA, R. *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. **Archives of Microbiology** v. 193, p. 275-286, 2011.

WALKER, R. Nitrates, nitrites and N-nitrosocompounds: A Review of the Occurrence in Food and Diet and the Toxicological Implications. **Food Additives & Contaminants**, v. 7, n. 6, p. 717-768, 1990.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Technical Report Series 859 - **Evaluation of certain food additives and contaminants**. FAO/WHO; 1995. Acesso em: 05 abr 2021. Disponível em: <<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/37246/1/>>.

WRIGHT, M.J.; DAVISON, K.L. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.16, p.197-274, 1964.

**APÊNDICE A** - Condições climáticas de umidade relativa do ar (UR), temperatura máxima (T. Máx.), média (T. Méd.) e mínima (T. Mín.) e radiação PAR (PAR) durante o experimento



**APÊNDICE B** – Reposição de pH e condutividade elétrica (CE) em sistema hidropônico NFT no tratamento controle (A), com inoculação de *A. brasilense* via solução nutritiva na dose de 8 mL 100 L<sup>-1</sup>, (B) 16 mL 100 L<sup>-1</sup> (C), 32 mL 100L<sup>-1</sup> (D), 64 mL 100L<sup>-1</sup> (E) no período experimental

