

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

KAYKY GOMES DE MEDEIROS

**O SILÍCIO ALIVIA A DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO NO MILHO  
SEM EFEITOS ADITIVOS COM *Azospirillum brasilense***

CHAPADÃO DO SUL-MS

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

KAYKY GOMES DE MEDEIROS

**O SILÍCIO ALIVIA A DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO NO MILHO  
SEM EFEITOS ADITIVOS COM *Azospirillum brasilense***

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Mato Grosso do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto

Coorientador: Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro

CHAPADÃO DO SUL-MS

2026



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Kayky Gomes de Medeiros.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

**Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto**  
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

**Prof. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro**  
Membro da Banca Examinadora

**Dra. Carolina Oliveira da Silva**  
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 18 de maio de 2026.

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Ferreira Barreto, Professor do Magisterio Superior**, em 18/05/2026, às 15:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 20/05/2026, às 15:27, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Carolina Oliveira da Silva, Usuário Externo**, em 21/05/2026, às 10:27, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6417284** e o código CRC **F57449AD**.

### COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada família, que sempre acreditou no meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiadores. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada demonstração de amor foram fundamentais para que eu nunca desistisse dos meus sonhos. Este trabalho representa não apenas uma conquista pessoal, mas também o reflexo de todo o esforço coletivo, paciência e fé que sempre encontrei em vocês. A realização desse sonho — o de trabalhar e me especializar na agricultura — é fruto da confiança que depositaram em mim e do exemplo de dedicação e coragem que sempre me inspirou. Que esta conquista seja também de vocês, com todo o meu carinho e gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e fé para enfrentar cada etapa desta jornada. Foi Ele quem me guiou nos momentos de dificuldade, iluminando meu caminho e mostrando que com perseverança e confiança tudo é possível.

Aos meus pais, Silas Medeiros dos Santos e Patricia Gomes Gonçalves, meus avós Vangela e Jozué, e minha irmã Kauanne, minha eterna gratidão por todo amor, apoio e sacrifício. Vocês sempre acreditaram em mim, mesmo quando o caminho parecia incerto, e foram minha base, meu incentivo e minha inspiração para continuar lutando pelos meus sonhos.

Aos professores Rafael Barreto, Meire Silvestrini, e a pesquisadora Carolina Oliveira, agradeço por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência e pela dedicação em ensinar. Cada orientação e conselho foram fundamentais para meu aprendizado e formação como profissional na área agrícola.

Aos meus amigos Guilherme Souto, Pedro Henrique Bittencorte, Augusto Batista, Murilo Nichele, Thiago Henrique, Fernanda Ganassim, Evelyn Boff, Evelyn Lacerda, Eduarda Furtado e Atilio Cardoso, meu muito obrigado pela amizade verdadeira, pela companhia nos momentos difíceis e pelas risadas que tornaram o percurso mais leve. Agradeço também pela ajuda nas avaliações, pelos estudos em grupo e pela troca de experiências que tanto contribuíram para o meu crescimento acadêmico.

A todos que, de alguma forma, participaram desta caminhada, deixo aqui minha sincera gratidão.

Cada gesto de apoio e cada palavra de incentivo fizeram parte da realização deste sonho!

## EPÍGRAFE

"Para que todos vejam, e saibam, e considerem, e juntamente entendam que a mão do Senhor fez isso"(ISAÍAS 41:20)

## **O SILÍCIO ALIVIA A DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO NO MILHO SEM EFEITOS ADITIVOS COM *Azospirillum brasilense***

### **Resumo**

Uma estratégia eficiente para aumentar a tolerância das plantas à deficiência de nitrogênio (N) seria o uso de silício (Si), que poderia ser aprimorado com o uso de *Azospirillum brasilense*. No entanto, os efeitos dessa combinação não são conhecidos no milho cultivado em solução nutritiva. Assim, foi hipotetizado que a combinação de *A. brasilense* e Si poderia resultar em um efeito aditivo para aliviar a deficiência de N em plantas de milho cultivadas em solução nutritiva. Os objetivos deste estudo foram avaliar o papel do Si e do *A. brasilense*, tanto isolados quanto combinados, nos aspectos nutricionais, fisiológicos e de crescimento de plantas de milho com suficiência e deficiência de N. As plantas de milho foram cultivadas em uma casa de vegetação, em vasos com areia lavada como substrato. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições, organizados da seguinte forma T1: N suficiência (+ N); T2: Deficiência de N (-N); T3: +N + *A. brasilense*; T4: -N + *A. brasilense*; T5: +N + Si; T6: -N + Si; T7: +N + *A. brasilense* + Si; T8: -N + *A. brasilense* + Si. *A. brasilense* foi fornecido por tratamento de sementes e Si por solução nutritiva. Na suficiência N, tanto *A. brasilense* quanto Si, isoladamente ou em combinação, não resultaram em mudanças no crescimento das plantas; na deficiência de N, apenas o Si resultou em um aumento da produção de matéria seca da parte aérea e raízes, sem efeitos aditivos quando combinado com *A. brasilense*. Em conclusão, o Si via solução nutritiva é uma boa estratégia para melhorar a eficiência nutricional do N, sem efeitos adicionais do uso de *A. brasilense* por meio do tratamento de sementes

Palavras-chave: Bactérias promotoras do crescimento de plantas, Elemento benéfico, *Zea mays*.

**SILICON MITIGATES NITROGEN DEFICIENCY IN CORN WITHOUT additives**  
**ADDITIVES EFFECTS WITH *Azospirillum brasilense*.**

**Abstract**

An efficient strategy to increase plant tolerance to nitrogen (N) deficiency would be the use of silicon (Si), which could be enhanced with the use of *Azospirillum brasilense*. However, the effects of this combination are not known in maize grown in nutrient solution. Thus, it was hypothesized that the combination of *A. brasilense* and Si may result in an additive effect on alleviating N deficiency in maize plants grown in nutrient solution. The objectives of this study were to evaluate the role of Si and *A. brasilense*, both isolated and combined, in the nutritional, physiological and growth aspects of maize plants with N sufficiency and deficiency. The maize plants were grown in a greenhouse in pots with washed sand as the substrate. A randomized block experimental design with four replicates and eight treatments was used as follows T1: N sufficiency (+N); T2: N deficiency (-N); T3: +N+A. *brasilense*; T4: -N+A. *brasilense*; T5: +N+Si; T6: -N+Si; T7: +N+A. *brasilense*+Si; T8: -N+A. *brasilense*+Si. *A. brasilense* was supplied via seed treatment and Si via nutrient solution. In N sufficiency, both *A. brasilense* and Si, alone or in combination, did not result in changes in plant growth; in N deficiency, only Si resulted in increased dry matter production of the shoots and roots, with no additive effects when combined with *A. brasilense*. In conclusion, Si via nutrient solution is a good strategy to improve N nutrition efficiency, without additional effects from the use of *A. brasilense* via seed treatment.

Keywords: Plant growth promoting bacteria, beneficial element, *Zea mays*.

## LISTA DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| FIGURA 1  |        |
| 1 (a). Teor de nitrogênio (N) da parte aérea..... | 14     |
| 1 (b). Teor de nitrogênio (N) na raiz.....        | 14     |
| 1 (c). Teor de Silício na parte aérea.....        | 14     |
| 1 (d). Teor de Silício na raiz.....               | 14     |
| FIGURA 2  |        |
| 2 (a). Clorofila total.....                       | 17     |
| 2 (b). Carotenoides.....                          | 17     |
| 2 (c). Eficiência no uso da água (WUE).....       | 17     |
| 2 (d). Eficiência no uso do Nitrogênio (NUE)..... | 17     |
| FIGURA 3  |        |
| 3 (a). Massa seca da parte aérea .....            | 18     |
| 3 (b). Massa seca da raiz.....                    | 18     |
| 3 (c). Área foliar.....                           | 18     |
| 3 (d). Volume Radicular.....                      | 18     |

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| LISTA DE FIGURAS.....   | iiiiv  |
| RESUMO.....   | 1      |
| ABSTRACT.....   | 2      |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 10     |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....  | 11     |
| 2.1 Condições de Crescimento e Tratamentos.....   | 11     |
| 2.2 Clorofila, Carotenoides e Eficiência no Uso da Água.....                                    | 12     |
| 2.3 Área Foliar e Volume das Raízes.....  | 13     |
| 2.4 Massa Seca de Parte Aérea e Raízes.....   | 13     |
| 2.5 Teor de Nitrogênio, Eficiência no Uso de Nitrogênio e Teor de Silício.....                  | 13     |
| 2.6 Análise Estatística .....   | 14     |
| 3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....   | 14     |
| 3.1 Conteúdo de Nitrogênio e Silício.....   | 14     |
| 3.2 Pigmentos Fotossintéticos, Eficiência no Uso da Água e Eficiência no Uso do Nitrogênio..... | 17     |
| 3.3 Crescimento da Planta.....  | 18     |
| 4. CONCLUSÕES.....  | 20     |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 21     |

## 1. Introdução

Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes ao crescimento das plantas, sendo frequentemente fornecido via fertilização em culturas agrícolas, como o milho (Bao et al. 2025; Ladha et al., 2022). Para alcançar maiores produtividades, é necessário utilizar grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados, o que pode resultar em aumento dos custos de produção e menor sustentabilidade (Campos e Silva, 2023; Wang et al., 2024).

Globalmente, aproximadamente metade dos fertilizantes nitrogenados aplicados nos sistemas de cultivo não é absorvida pelas plantas, o que torna sua eficiência de uso baixa (Coskun et al., 2017; Liu et al., 2025; Sun et al., 2025). A eficiência de uso do nitrogênio diminui à medida que há maior disponibilidade do nutriente no sistema, enquanto países desenvolvidos obtiveram ganhos na NUE por meio de práticas de manejo mais aprimoradas, países em desenvolvimento apresentaram redução dessa eficiência em razão do aumento desordenado da aplicação de N. (Javed et al., 2022).

Em contraste com os cereais, as leguminosas obtêm a maior parte do seu N através dos microrganismos fixadores de N que residem em nódulos radiculares. Assim, uma possível alternativa para melhorar a eficiência no uso de N (NUE) é utilizar bactérias associadas a cereais para fixar N (Ladha et al., 2022). Nesse contexto, o milho pode se beneficiar da interação com a bactéria *A. brasiliense*, conhecida por sua capacidade de realizar a fixação biológica de N e aumentar a síntese de fitormônios, promovendo maior crescimento das plantas, mesmo para plantas cultivadas em vasos com solo, sem o uso de solução nutritiva (Zaheer et al., 2022) e com o uso de solução nutritiva (Oliveira et al., 2024). No entanto, em solo ou hidroponia, tem-se observado que a respostas diferentes das plantas à *A. brasiliense* em termos de aumento de biomassa, devido a vários fatores, como genótipo e frequência de inoculação (Kolega et al. 2020; Oliveira et al., 2024).

Dado o exposto, observa-se que a eficiência de *A. brasiliense* em hidroponia requer pesquisas adicionais. Essa abordagem é importante porque a hidroponia oferece vantagens para a produção de alimentos em pequenos espaços, a possibilidade de utilizar solos pobres, como areia do deserto, e pode ser praticada tanto em ambientes internos quanto externos, incluindo a produção de forragem de milho hidropônico (Ebenezer et al., 2021; Manimozhi e

Krishnamoorthy, 2025 ). Assim, novas pesquisas são necessárias para buscar sinergia entre mitigadores da deficiência de N em prol de uma agricultura mais sustentável.

Uma outra alternativa para tratar a deficiência de N ou fornecê-lo em quantidades relativamente pequenas e até mesmo minimizar perdas de produtividade é o uso de silício (Si), um elemento químico classificado como benéfico na literatura clássica sobre nutrição de plantas (Prado, 2021) e como nutriente na definição recentemente proposta (Brown et al., 2022). Após vários estudos sobre deficiência de N e Si, concluiu-se que a aplicação de Si é uma estratégia para minimizar os efeitos nocivos da deficiência moderada de N em culturas agrícolas, sendo menos efetivo sob condições de severa limitação de N. (Campos e Silva, 2023).

Neste contexto, dois agentes para mitigar a deficiência nutricional podem ser mais eficientes do que um (Alves et al., 2024a, b). Assim, dado que tanto A. brasilense quanto o Si, isoladamente, geralmente beneficiam plantas em relação a deficiência de N, foi levantada a hipótese de que (a) A. brasilense alivia a deficiência de N em plantas de milho; (b) o Si alivia a deficiência de N em plantas de milho; e (c) a combinação de A. brasilense e Si pode ter um efeito aditivo no alívio da deficiência de N em plantas de milho. Os objetivos deste estudo foram avaliar os papéis do Si e do A. brasilense, tanto isoladamente quanto combinados, em aspectos nutricionais, fisiológicos e de crescimento de plantas de milho com suficiência e deficiência de N.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Condições de Crescimento e Tratamentos**

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, entre setembro de 2023 e janeiro de 2024. O experimento foi conduzido em estufa utilizando plantas de milho do híbrido AS18689PRO3. As sementes de milho foram semeadas em vasos contendo 5 dm<sup>3</sup> de areia lavada, de acordo com a metodologia para limpeza de areia para experimentos de nutrição de plantas (Lima Filho et al., 2018).

No estágio fenológico V1, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso. Foi utilizado um delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições e oito tratamentos, da seguinte forma: T1: Suficiência de N (+ N); T2: Deficiência de N (-N); T3: +N + A. brasilense; T4: -N + A. brasilense; T5: +N + Si; T6: -N + Si; T7: +N + A. brasilense + Si; T8: -N + A. brasilense + Si. A dose de A. brasilense utilizada foi de 4 mL kg<sup>-1</sup> de semente por meio do produto comercial AzoKop, que contém as cepas de bactérias Abv5 e Abv6. A inoculação consistiu na aplicação de 4 mL de inoculante para cada 1 kg de sementes

de milho, seguida de homogeneização manual em embalagem plástica. O procedimento foi realizado apenas uma vez, via tratamento de sementes.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Hoagland e Arnon em 1950 com modificações para os tratamentos de suficiência de N ( $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e deficiência de N ( $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ). Hoagland e Arnon (1950) recomendam  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  de N. No entanto, essa concentração, assim como a dos outros macronutrientes indicados por esses autores, geralmente é alta para plantas jovens. Portanto, foi utilizada a metade da recomendação como concentração de N suficiente, ou seja,  $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , e 10% da recomendação como concentração deficiente, ou seja,  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de N. Para os tratamentos com Si,  $2 \text{ mmol L}^{-1}$  foram fornecidos via solução nutritiva, essa concentração foi definida pois é comumente utilizada em pesquisas semelhantes (Sarah et al., 2022) e, por ser de baixa concentração, evita o risco de polimerização.

A fonte de Si foi silicato de potássio estabilizado com sorbitol, com  $115 \text{ g L}^{-1}$  de Si e  $113,85 \text{ g L}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . O K foi balanceado para todos os tratamentos com KCl. Soluções de 10% de HCl ou NaOH foram usadas para ajustar o pH. Entre a emergência das plantas e o estágio fenológico V4, foram aplicados 250 mL de solução nutritiva por vaso, enquanto do estágio V4 ao V8 o volume foi aumentado para 500 mL por vaso, sendo a quantidade de solução suficiente para garantir excedente no recipiente coletor dos vasos, até o estágio V4 utilizou-se 20% da concentração da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), passando posteriormente para 50% da concentração até o estágio V8, quando foram realizadas as avaliações.

## **2.2 Clorofila, Carotenoides e Eficiência no Uso da Água**

Os pigmentos foram extraídos com acetona a 80% de um  $\text{cm}^2$  de folha. Os extratos foram medidos em 663 nm (clorofila A), 647 nm (clorofila B) e 470 nm (carotenoides) (Lichtenthaler, 1987). A fotossíntese e a transpiração foram avaliadas por meio do equipamento LI-6400 (LI-COR, EUA). A eficiência no uso da água (WUE) foi calculada como  $\text{mmol de CO}_2$  fixado por  $\text{mmol de água transpirada}$  ( $\text{WUE} = \text{mmol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ ).

## **2.3 Área Foliar e Volume das Raízes**

A área foliar foi determinada medindo a largura de cada folha em seu ponto mais largo e seu comprimento. Os dados foram aplicados na equação (Guimarães et al., 2002). A área foliar total da planta foi obtida a partir da soma da área foliar de cada folha. As raízes foram coletadas, lavadas em água para remover o substrato e submetidas à análise volumétrica através

de um cilindro graduado de 2 L preenchido com 1 L de água. Assim, o volume das raízes foi obtido utilizando o método de deslocamento (Burdett, 1979).

$$VR = VF - VI$$

VR: Volume das raízes (ou do objeto medido).

VF: Volume total da água após a submersão do sistema radicular.

VI: Volume da água no recipiente antes da submersão.

#### **2.4 Massa Seca de Parte Aérea e Raízes**

As plantas foram separadas em parte aérea e raízes e lavadas em água, detergente neutro (0,1%), ácido clorídrico (0,3%) ou água deionizada. O material vegetal foi seco em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até se obter uma massa constante. Após a secagem, a massa seca foi obtida por pesagem em uma balança analítica.

#### **2.5 Teor de Nitrogênio, Eficiência no Uso de Nitrogênio e Teor de Silício**

O teor de N foi analisado nas partes aéreas e raízes a partir da digestão das amostras em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), onde os brotos e raízes foram coletados, secos (em estufa) e moídos até formar um material homogêneo, então, a amostra moída foi colocada em um tubo de digestão com ácido sulfúrico concentrado, utilizando catalisadores como cobre, ocorrendo a decomposição da matéria orgânica convertendo assim, o nitrogênio presente nos brotos e raízes, principalmente em íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Posteriormente realizou-se o aquecimento das amostras até ficar límpida (indicando que a digestão foi completa) garantindo que todo o N orgânico foi transformado. Finalmente, foi realizado a destilação com auxílio de um destilador de Kjeldahl e titulação em solução de ácido sulfúrico, onde o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi convertido em amônia (NH<sub>3</sub>) e então quantificado. (Bataglia et al., 1983). O teor de Si na parte aérea e raízes foi obtido extraindo o elemento com peróxido de hidrogênio e solução de hidróxido de sódio em um forno de circulação de ar forçado a 120 °C (Kraska e Breitenbeck, 2010). A leitura foi realizada por colorimetria com molibdato de amônio, ácido oxálico e HCl usando um espectrofotômetro a 410 nm (Korndörfer et al., 2004). A NUE foi calculada a partir do quadrado da matéria seca total e do acúmulo de N na matéria seca total (Siddiqi e Glass, 1981).

## 2.6 Análise Estatística

Os dados foram analisados pelo software Sisvar (Ferreira, 2011). A análise de variância foi realizada pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). Quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Conteúdo de Nitrogênio e Silício

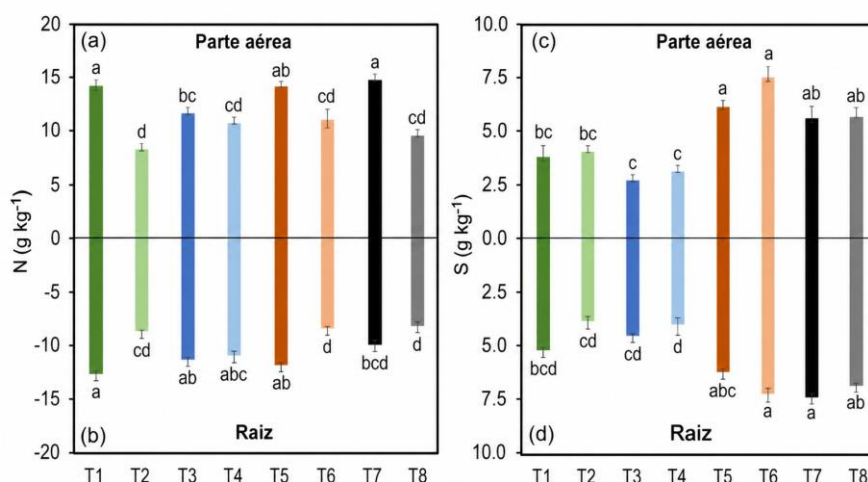


Fig. 1 Teor de nitrogênio (N) da parte aérea (F 13,2;  $p < 0,001$ ) (a) e raízes (F 10,4;  $p < 0,001$ ) (b); teor de silício (Si) na parte aérea (F 14,7;  $p < 0,001$ ) (c) e raízes (F 13,6;  $p < 0,001$ ) (d) de plantas de milho cultivadas sob condições de suficiência e deficiência de N, isoladamente ou combinadas com inoculação de *Azospirillum brasilense* nas sementes e Si via solução nutritiva. As mesmas letras indicam que não houve diferença de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média. T1: Suficiência de N (+ N); T2: Deficiência de N (-N); T3: +N + A. brasiliense; T4: -N + A. brasiliense; T5: +N + silício (Si); T6: -N + Si; T7: +N + A. brasiliense + Si; T8: -N + A. brasiliense + Si.

As plantas suficientes em N, sozinhas (T1) ou em combinação com *A. brasiliense* (T3) e Si (T7), apresentaram o maior teor de N na parte aérea. Em tratamentos com redução de N na solução nutritiva resultou no menor teor de N, seja isoladamente (T2) ou combinado com *A. brasiliense* e Si (T8), exceto no tratamento combinado com N e *A. brasiliense* (T4), no qual não houve diferença no conteúdo de N (Fig. 1a). Nas raízes, o teor de N foi maior em plantas com suficiência de N (T1, T3, T5 e T7) e menor naquelas com deficiência de N (T2, T4, T6 e T8). No entanto, nos tratamentos com N com *A. brasiliense* (T3) e N com *A. brasiliense* e Si (T7), não houve diferença de N no conteúdo de raiz, em função da suficiência ou deficiência de N (Fig. 1b).

Em geral, plantas cujos níveis de N são inferiores a  $10 \text{ g kg}^{-1}$  no tecido vegetal são classificadas como deficientes em N (Novais et al. 2007). Assim, os níveis observados no experimento, nos tratamentos com +N (T1, T3, T5 e T7), indicam que as plantas apresentaram níveis adequados, enquanto o tratamento com -N (T2) resultou em plantas deficientes nesse nutriente (Fig. 1a)., Si e a inoculação com *A. brasiliense* (T4, T6 e T8) não resultaram em diferença no teor de N, nem nas partes aéreas nem nas raízes, em relação ao tratamento da deficiência de N (Fig. 1a e b). Embora a literatura indique uma melhora no estado nutricional do N com a inoculação de *A. brasiliense*, também há estudos em que isso não ocorreu, como foi observado por Hungria et al. (2021) em *Urochloa ruziziensis*, onde não obteve diferença no incremento de N, de modo que a frequência da inoculação e a espécie pode influenciar no teor de N no tecido vegetal, já que também ocorreu em morangos cultivados em vasos, uma única aplicação de *A. brasiliense* não resultou em nenhuma alteração no teor de N foliar, enquanto a inoculação quinzenal e mensal aumentou a densidade total de bactérias e o teor de N foliar (Oliveira et al., 2024).

Assim também, neste estudo, os outros parâmetros avaliados, como o teor de clorofila, carotenoides, WUE e NUE, não melhoraram com o uso de *A. brasiliense* (T4), em relação à sua ausência, sob deficiência de N (T2) (Fig. 2). Portanto, os parâmetros de crescimento massa seca de parte aérea e raiz, área foliar e volume radicular também não diferiram sob condições de deficiência de N, com (T4) ou sem o uso de *A. brasiliense* (T2) (Fig. 3).

Na parte aérea e raízes, em geral, os níveis de Si foram maiores nos tratamentos em que este elemento foi fornecido (T5, T6, T7 e T8) do que nas plantas cultivadas sem a aplicação de Si via solução nutritiva (T1, T2, T3 e T4) (Fig. 1c e d). Um fator que afeta a absorção de Si, além da disponibilidade do elemento, é a espécie da planta. Assim, plantas classificadas como acumuladoras, como no caso das gramíneas, há presença de absorção ativa geralmente têm acúmulo de Si superiores a  $5 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto em plantas não acumuladoras, com absorção passiva, o conteúdo de Si é geralmente inferior a  $5 \text{ g kg}^{-1}$  (Ma et al., 2011).

Assim, os dados desta pesquisa indicam onde houve maiores concentrações deste elemento na parte aérea e nas raízes das plantas avaliadas (Fig. 1c e d). Si (T5, T6, T7 e T8) houve uma melhora na clorofila, carotenoide e NUE (Fig. 2), o que, por sua vez, resultou em aumento da massa seca da parte aérea e das raízes e do volume radicular (Fig. 3). A ausência de diferença no teor de Si na parte aérea e nas raízes, entre T5, T6, T7 e T8 (Fig. 1c e d), indica que a absorção de Si não foi afetada pela inoculação com *A. brasiliense*. É possível que a ausência de diferenças tenha ocorrido porque não houve mudanças na massa seca das raízes e

no volume radicular entre os mesmos tratamentos (Fig. 3c e d). Assim, o volume radicular para a absorção de Si foi o mesmo entre esses tratamentos.

### 3.2 Pigmentos Fotossintéticos, Eficiência no Uso da Água e Eficiência no Uso do Nitrogênio

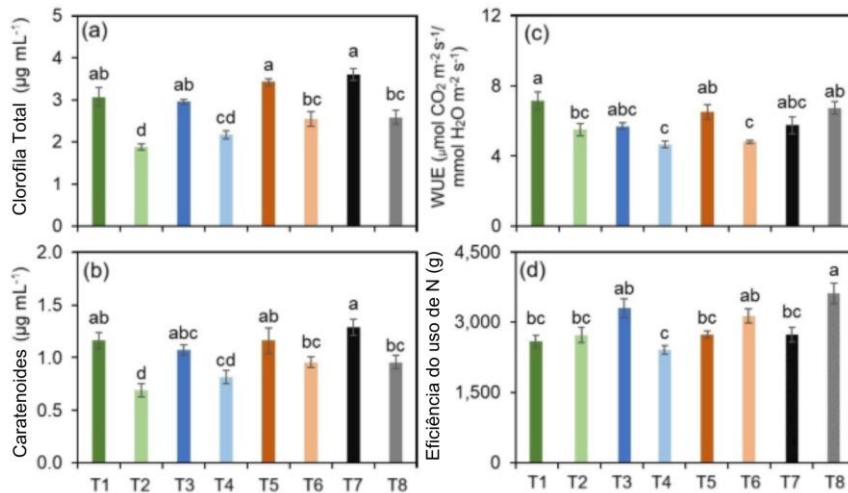


Fig. 2 Clorofila total (F 18,1;  $p < 0,001$ ) (a), carotenoides (F 7,2;  $p < 0,001$ ) (b), eficiência do uso da água (WUE) (F 6,3;  $p < 0,001$ ) (c) e eficiência do uso do nitrogênio (NUE) (F 6,6;  $p < 0,001$ ) (d) de plantas de milho cultivadas sob condições de nitrogênio suficiente e deficiência de nitrogênio, isoladas ou combinadas com inoculação de *Azospirillum brasilense* (Azo) nas sementes e Si via solução nutritiva. As mesmas letras indicam que não houve diferença de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média. T1: Suficiência de N (+N); T2: Deficiência de N (-N); T3: +N + *A. brasilense*; T4: -N + *A. brasilense*; T5: +N + silício (Si); T6: -N + Si; T7: +N + *A. brasilense* + Si; T8: -N + *A. brasilense* + Si.

O teor total de clorofila e carotenoides foi maior em plantas suficiente em nitrogênio (T1, T3, T5 e T7) do que nas deficientes em N, independentemente da combinação de *A. brasilense* e Si (T2, T4, T6 e T8). A deficiência de N resultou na diminuição dos teores de clorofila e carotenoides (T2). No entanto, o tratamento usando apenas com Si (T6) ou em combinação com *A. brasilense* (T8) resultou em menor perda desses pigmentos (Fig. 2a e b). Nesse contexto, a deficiência de N causa uma diminuição na clorofila porque o N é um componente da clorofila (Mu e Chen, 2021). Além disso, a oxidação é uma marca registrada do estresse, estudos associaram o Si ao aumento das atividades antioxidantes das partes aérea e raízes, tanto enzimáticas quanto não enzimáticas, bem como mudanças nas concentrações de marcadores comuns do estresse oxidativo, incluindo malonaldeído e peróxido de hidrogênio (Coskun et al., 2017).

Assim, é possível que, neste estudo, tratamentos com Si (T6 e T8) tenham resultado em menor estresse oxidativo, prevenindo a degradação da clorofila e dos carotenoides (Fig. 2a e

b). A eficiência do uso da água foi maior nos tratamentos com N-suficiente (T1, T3, T5 e T7) e menor nos tratamentos com N-deficiência (T2, T4, T6, T8). No entanto, com deficiência de N, o tratamento combinado com *A. brasiliense* e Si (T8) resultou em aumento da WUE (Fig. 2c). Tanto a suficiência quanto a deficiência de N resultaram em plantas com NUE mais baixo.

No entanto, os tratamentos com *A. brasiliense* e Si resultaram em aumento da NUE, especialmente o tratamento -N + *A. Brasiliense* + Si (T8) (Fig. 2d). A eficiência do uso de nutrientes, definida como a capacidade de uma planta converter nutrientes em biomassa (Prado, 2021), pode aumentar de três maneiras: (a) menor absorção de nutrientes e biomassa constante, (b) absorção constante de nutrientes e aumento da biomassa, e (c) um aumento menor na taxa de absorção de nutrientes do que a magnitude do aumento na massa seca (An et al., 2005). Assim, os dados deste trabalho sugerem que o Si resultou em aumento da biomassa de parte aérea e raiz (Fig. 3a e b) sem causar alterações na absorção de N (Fig. 1a e b).

### 3.3 Crescimento da Planta

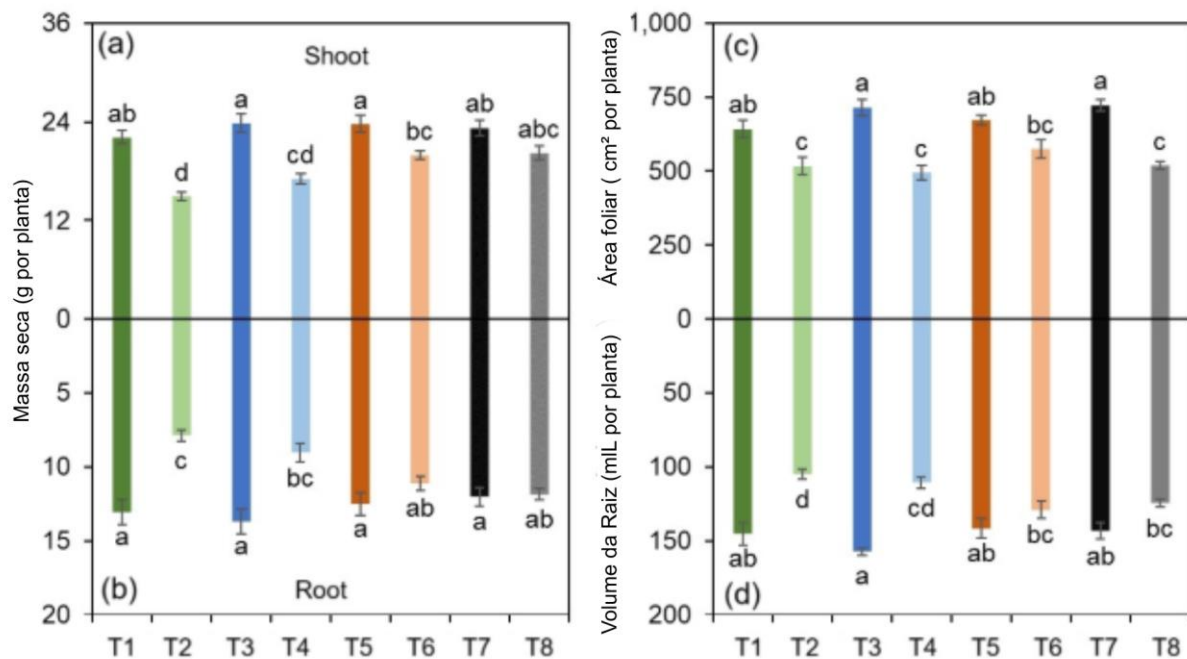


Fig. 3 Massa seca da parte aérea (F 15,3;  $p < 0,001$ ) (a), massa seca da raiz (F 10,1;  $p < 0,001$ ) (b), área foliar (F 14,9;  $p < 0,001$ ) (c) e volume da raiz (F 12,0;  $p < 0,001$ ) (d) de plantas de milho cultivadas sob condições de N suficiente e N deficiente, isoladamente ou combinadas com inoculação de *Azospirillum brasiliense* (Azo) nas sementes e Si via solução nutritiva. As mesmas letras indicam que não houve diferença de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média. T1: Suficiência de N (+N); T2: Deficiência de N (-N); T3: +N + *A. brasiliense*; T4: -N + *A. brasiliense*; T5: +N + silício (Si); T6: -N + Si; T7: +N + *A. brasiliense* + Si; T8: -N + *A. brasiliense* + Si.

A matéria seca de parte aérea e raízes foi maior em plantas com suprimento adequado de N do que em plantas com deficiência de N. No entanto, em plantas com deficiência de N, *A. brasiliense* e Si (T6 e T8) resultaram em aumento da matéria seca em parte aérea e raízes (Fig. 3a e b). A área foliar foi maior no tratamento com suficiência de N e menor no tratamento com deficiência de N. No entanto, o tratamento com *A. brasiliense* e Si (T8) não resultou em aumento da área foliar (Fig. 3c).

O volume radicular também foi maior sob suficiência de N e menor sob deficiência de N. Contudo, sob deficiência de N, os tratamentos Si e *A. brasiliense* + Si (T6 e T8) resultaram em volume radicular igual ao verificado sob suficiência de N (T1) (Fig. 3d). A ausência de diferenças em praticamente todos os parâmetros avaliados entre os tratamentos -N + Si (T6) e -N + Si + *A. brasiliense* (T8) indica que não há efeitos aditivos ao combinar Si e *A. brasiliense* para mitigar a deficiência de N.

Neste contexto, os efeitos positivos de *A. brasiliense* se devem principalmente a mudanças morfológicas e fisiológicas nas raízes das plantas hospedeiras, levando a um aumento e melhoria na absorção de água e nutrientes (Fukami et al., 2018). No entanto, em neste experimento, o tratamento com *A. brasiliense* sozinho melhorou apenas a deficiência de N, o que pode ter contribuído para a ausência de diferença no tratamento combinado. O papel do Si na mitigação do estresse, incluindo distúrbios nutricionais, é bem conhecido, e a situação comum é que esse elemento seja estudado isoladamente, com fontes e doses (Prado, 2023). No entanto, pesquisas recentes foram realizadas com dois agentes mitigadores isolados, e ambos melhoraram o crescimento das plantas (Alves et al., 2024a, b).

No entanto, a hipótese de que a combinação dos dois agentes mitigantes *A. brasiliense* e Si poderia resultar em efeitos aditivos para aliviar a deficiência de N no milho foi rejeitada porque, em praticamente todos os parâmetros avaliados, não havia diferença entre os tratamentos com deficiência de N e Si (T6) e aqueles com deficiência de N, Si e *A. brasiliense* (T8). Isso pode ter ocorrido devido à falta de diferença no crescimento das plantas, ou seja, massa seca e volume radicular, entre deficiência de N (T2) e deficiência de N com *A. brasiliense* (T4) (Fig. 3), porque não houve melhorias nos níveis de N (Fig. 1), possivelmente devido à inoculação ter sido realizada apenas uma vez, enquanto frequências de inoculação mais altas foram relatadas como mais eficientes na promoção de melhorias nos níveis de N e, consequentemente, no crescimento das plantas (Oliveira et al., 2024).

A ausência de efeitos aditivos entre Si e *A. brasiliense* neste estudo ressalta a complexidade das interações nutriente-estresse em sistemas hidropônicos controlados. Na

agricultura baseada em solo, efeitos sinérgicos entre inoculantes microbianos e emendas minerais são frequentemente observados devido à melhora na arquitetura radicular e no ciclo de nutrientes (Chen et al., 2025; Sun et al., 2025).

No entanto, em ambientes hidropônicos, a ausência de um microbioma nativo do solo e a interação limitada entre raízes e microrganismos podem restringir tais sinergias. Estudos futuros devem explorar se a aplicação repetida ou foliar de *A. brasilense* pode aumentar sua eficácia na hidroponia, como visto em sistemas de solo onde a atividade microbiana melhora a eficiência do uso de água e nutrientes (Yi et al., 2022).

Além disso, integrar Si com outros agentes mitigadores de estresse, como proteínas de choque térmico (Wang et al., 2023) ou fatores de transcrição responsivos a hormônios (Abubakar et al., 2023; Liu et al., 2019) poderia oferecer novas vias para aumentar a resiliência das culturas sob limitação de nutrientes, especialmente em condições de deficiência severa em que o benefício do Si é menos evidente (Campos e Silva, 2023).

Compreender essas interações em níveis molecular e fisiológico será crucial para a criação de estratégias integradas de manejo de nutrientes para a agricultura hidropônica sustentável (Yang et al., 2019).

#### 4. Conclusões

*Azospirillum brasilense* não aliviou a deficiência de N no milho porque não houve aumento no teor de N, EN de N, clorofila e carotenoides, EAU ou crescimento da planta. O Si sozinho aliviou a deficiência de N no milho porque melhorou a clorofila, os carotenoides e o crescimento da planta. A combinação de *A. brasilense* e Si não resultou em efeitos aditivos no alívio da deficiência de N no milho. As implicações práticas dos achados são que fornecer Si via solução nutritiva é uma boa estratégia para melhorar a eficiência da nutrição de N, sem efeitos adicionais pelo uso de *A. brasilense*.

#### 5 Referências

ABUBAKAR As, WU Y, CHEN F, ZHU A, CHEN P, CHEN K, QIU X, HUANG X, ZHAO H, CHEN J, GAO G. Comprehensive analysis of WUSCEL-related homeobox gene family in ramie (*Boehmeria nivea*) indicates its potential role in adventitious root development. **Biology (Basel)**, v.12 p.1475, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biology12121475>

ALVES DMR, DE MELLO PRADO R, BARRETO RF. Silicon and sodium attenuate potassium deficiency in *Eruca sativa* Mill. **Food Chem** v. 432, p. 137225, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137225>

ALVES DMR, PRADO RM, BARRETO RF, CARVALHO LTS. Nano-silicon and sodium mitigate damage by potassium deficiency in chicory. **Sci Rep** v. p.14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67875-0>

AN Y, WAN S, ZHOU X, SUBEDAR AA, WALLACE LL, LUO Y. Plant nitrogen concentration, use efficiency, and contents in a tallgrass prairie ecosystem under experimental warming. **Glob Chang Biol**, v.11 p. 1733–1744, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01030.x>

BAO L, YU L, YU E, LI R, CAI Z, YU J, LI X. Improving the simulation of maize growth using WRF-Crop model based on data assimilation and local maize characteristics. **Agric For Meteorol**, v. 365 p. 110478, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110478>

BATAGLIA OC, FURLANI AMC, TEIXEIRA JAF, FURLANI PR, GALLO JR. Métodos de análise química de plantas. **Inst. Agronômico Campinas** v.46, 1983.

BROWN PH, ZHAO F-J, DOBERMANN A. What is a plant nutrient? Changing definitions to advance science and innovation in plant nutrition. **Plant Soil**, v. 476 p.11–23. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05171-w>

BURDETT AN. A nondestructive method for measuring the volume of intact plant parts. **Can J For Res**, v.9 p. 120–122, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/x79-021>

CAMPOS CNS, SILVA BC. Silicon mitigates the effects of nitrogen deficiency in plants. In: *Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants*. Springer International Publishing, Cham, p. 87–100, 2023.

CHEN Y, ZHAO X, ZHANG J, WANG H, YE Z, MA W, MAO R, ZHANG S, DAHLGREN RA, GAO H, CHEN Z, XIA S. Combined application of nitrate and schwertmannite promotes As(III) immobilization and greenhouse gas emission reduction in flooded paddy fields. In: *J Environ Chem Eng*. v. 13, p. 119845, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.119845>

COSKUN D, BRITTO DT, SHI W, KRONZUCKER HJ. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. In: *Nat Plants*. v. 3, p.17074, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.74>

EBENZER RJ, PAULPANDI TG, SIVA KUMAR T, GOPINATHAN A, MEENAKSHI SUNDARAM S. Supplementation of the diets with hydroponic maize fodder affects digestibility, puberty, sexual behavior, and semen characteristics in buck kids. In: *Trop Anim Health Prod*. v. 53, p. 310, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02761-9>

FERREIRA DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. In: *Ciência e Agrotecnologia*. v. 35, p. 1039–1042, 2011.

FUKAMI J, CEREZINI P, HUNGRIA M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. In: *AMB Express*. v. 8, p. 73, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>

GUIMARÃES DP, SANS LM, MORAES AVC. Estimativa da área foliar de cultivares de milho. In: *XXIV Congr. Nac. Milho e Sorgo*, 2002.

HOAGLAND DR, ARNON DI. The water-culture method for growing plants without soil. In: *Calif Agric Exp Stn Circ*. v. 347, p. 1–32, 1950. Disponível em: <https://doi.org/citeulike-article-id:9455435>

HUNGRIA M, RONDINA ABL, NUNES ALP, ARAUJO RS, NOGUEIRA MA. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and

environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. In: **Plant Soil**. v. 463, p. 171–186, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04908-x>

JAVED T, I I, SINGHAL RK, SHABBIR R, SHAH AN, KUMAR P, JINGER D, DHARMAPPA PM, SHAD MA, SAHA D, ANURAGIH, ADAMSKI R, SIUTA D. Recent advances in agronomic and physio-molecular approaches for improving nitrogen use efficiency in crop plants. In: **Front Plant Sci**. v. 13, p. 877544, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.877544>.

KOLEGA S, MIRAS-MORENO B, BUFFAGNI V, LUCINIL, VALENTINUZZI F, MAVER M, MIMMO T, TREVISAN M, PII Y, CESCO S. Nutraceutical profiles of two hydroponically grown sweet basil cultivars as affected by the composition of the nutrient solution and the inoculation with *Azospirillum brasilense*. In: **Front Plant Sci**. v. 11, p. 596000, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.596000>

KORNDÖRFER GH, PEREIRA HS, NOLA A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. In: GPSi-ICIAG-UFU, Uberlândia, 2004.

KRASKA JE, BREITENBECK GA. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. In: **Commun Soil Sci Plant Anal**. v. 41, p. 2075–2085, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.498537>.

LADHA JK, PEOPLES MB, REDDY PM, BISWAS JC, BENNETT A, JAT ML, KRUPNIK TJ. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. In: **F Crop Res**. v. 283, p. 108541, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108541>.

LICHTENTHALER HK. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: **Methods Enzymol**. v. 148, p. 350–382, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).

LIMA FILHO OF, SILVA MS, VAREIRO WPO, ZANUTTO RP. Limpeza de areia para experimentos em nutrição de plantas. In: **Comun. Técnico**. v. 232, p. 4, 2018.

LIU T, LUO T, GUO X, ZOU X, ZHOU D, AFRIN S, LI G, ZHANG Y, ZHANG R, LUO Z. PgMYB2, a MeJA-responsive transcription factor, positively regulates the dammarenediol

synthase gene expression in *Panax ginseng*. In: **Int J Mol Sci.** v. 20, p. 2219, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20092219>.

LIU Y, JIA B, REN Y, XUN W, STEFANIC P, YANG T, MIAO Y, ZHANG N, YAO Y, ZHANG R, XU Z, SHEN Q, MANDIC-MULEC I. Bacterial social interactions in synthetic *Bacillus* consortia enhance plant growth. In: **iMeta.** v. 4, p. 70053, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/imt2.70053>.

MA JF, YAMAJI N, MITANI-UENO N. Transport of silicon from roots to panicles in plants. In: **Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci.** v. 87, p. 377–385, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2183/pjab.87.377>.

MANIMOZHI R, KRISHNAMOORTHY G. Innovative techniques in agriculture: transitioning from traditional farming to precision and hydroponic agriculture. In: **Environ Qual Manag.** v. 34, p. 70047, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tqem.70047>.

MU X, CHEN Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. In: **Plant Physiol Biochem.** v. 158, p. 76–82, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>.

NOVAISRF, ALVAREZVH, BARROSNF, FONTES RLFF, CANTARUTTI RB, LIMA JC. Fertilidade do Solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA AJM, CAVALCANTI VP, RODRIGUES FA, DOS SANTOS VL, JULIO ADL, MOLINA YC, PASQUAL M, MARTINS AD, FUFATO L, DÓRIA J. Application frequency and colonization of the rhizosphere of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duchesne) plants by *Azospirillum brasilense*. In: **J Plant Growth Regul.** v. 43, p. 986–997, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11154-1>.

PRADO R DE M. Mineral nutrition of tropical plants. In: Springer International Publishing, Cham, 2021.

PRADO R DE M. Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants. In: Springer International Publishing, Cham, 2023.

SARAH MM DOS S, PRADO R DE M, TEIXEIRA GCM, DE SOUZA JÚNIOR JP, DE MEDEIROS RLS, BARRETO RF. Silicon supplied via roots or leaves relieves potassium

deficiency in maize plants. In: **Silicon**. v. 14, p. 773–782, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00908-1>.

SIDDIQI MY, GLASS ADM. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. In: **J Plant Nutr**. v. 4, pág 289–302, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904168109362919>.

SUN S, XIE W, WANG G, ZHANG W, HU Z, SUN X, SUN H, DELUCA TH. Evidence for phosphorus cycling parity in nodulating and non-nodulating N<sub>2</sub>-fixing pioneer plant species in glacial primary succession. In: **Funct Ecol**. v. 39, p. 985–1000, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.70023>.

WANG F, ZHANG J, ZENG Y, WANG H, ZHAO X, CHEN Y, DENG H, GEL, DAHLGREN RA, GAO H, CHEN Z. Arsenic mobilization and nitrous oxide emission modulation by different nitrogen management strategies in a flooded ammonia-enriched paddy soil. In: **Pedosphere**. v. 34, p. 1051–1065, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.09.008>.

WANG Y-X, YU T-F, WANG C-X, WEI J-T, ZHANG S-X, LIU Y-W, CHEN J, ZHOU Y-B, CHEN M, MA Y-Z, LAN J-H, ZHENG J-C, LI F, XU Z-S. Heat shock protein TaHSP17.4, a TaHOP interactor in wheat, improves plant stress tolerance. In: **Int J Biol Macromol**. v. 246, p. 125694, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125694>.

YANG X, XIA X, ZHANG Z, NONG B, ZENG Y, WU Y, XIONG F, ZHANG Y, LIANG H, PAN Y, DAI G, DENG G, LI D. Identification of anthocyanin biosynthesis genes in rice pericarp using PCAMP. In: **Plant Biotechnol J**. v. 17, p. 1700–1702, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pbi.13133>.

YI J, LI H, ZHAO Y, SHAO M, ZHANG H, LIU M. Assessing soil water balance to optimize irrigation schedules of flood-irrigated maize fields with different cultivation histories in the arid region. In: **Agric Water Manag**. v. 265, p. 107543, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107543>.

ZAHEER MS, ALI HH, ERINLE KO, WANI SH, OKON OG, NADEEM MA, NAWAZ M, BODLAHMA, WAQAS MM, IQBAL J, RAZA A. Inoculation of *Azospirillum brasilense* and exogenous application of trans-zeatin riboside alleviates arsenic induced physiological damages in wheat (*Triticum aestivum*). In: **Environ Sci Pollut Res.** v. 29, p. 33909–33919, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18106-w>.