

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA E SUSTENTABILIDADE NA
AGRICULTURA

GABRIELA DA SILVA DA COSTA

**COINOCULAÇÃO DA SOJA COM BIOINSUMOS ASSOCIADOS AO
SILÍCIO**

CASSILÂNDIA – MS

Março/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA E SUSTENTABILIDADE NA
AGRICULTURA

GABRIELA DA SILVA DA COSTA

**COINOCULAÇÃO DA SOJA COM BIOINSUMOS ASSOCIADOS AO
SILÍCIO**

Orientador: Sebastião Ferreira de Lima

Defesa de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS

Março/2026

C872 c Costa, Gabriela da Silva da

Coinoculação da soja com bioinsumos associados ao silício/ Gabriela da Silva da
Costa – Cassilândia, MS: UEMS, 2026.

33 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia,) - Sustentabilidade na Agricultura –
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2026.

Orientadora: Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima.

1. *Glycine Max* 2. *Azospirillum brasiliense* 3. *Bacillus aryabhattai* 4. *Pseudomonas fluorescens*. I. Lima, Sebastião Ferreira de. II. Título.

CDD 23. ed. – 633.34

Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: COINOCULAÇÃO DA SOJA COM BIOINSUMOS ASSOCIADOS AO SILÍCIO

AUTOR: GABRIELA DA SILVA DA COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. SEBASTIÃO FERREIRA DE LIMA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **SEBASTIÃO FERREIRA DE LIMA**
Data: 24/03/2026 08:11:15 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima – UFMS
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO**
Data: 23/03/2026 15:35:45 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo – UEMS

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL FERREIRA BARRETO**
Data: 23/03/2026 16:15:37 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto – UFMS

Data da realização: 20 de março de 2026.

Dedicatória

Dedico esse trabalho a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo dessa jornada e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu bom Deus, que sempre esteve comigo me fortalecendo e abençoando todos os meus sonhos.

Agradeço ao meu filho que é a minha força e motivação para sempre correr atrás dos meus sonhos.

Agradeço a minha família que sempre esteve comigo, apoiando e acreditando no meu potencial.

Agradeço ao meu orientador Sebastião por todo apoio e auxílio para o desenvolvimento do trabalho.

À Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e Sustentabilidade na Agricultura.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa e pelo suporte financeiro para a realização dos experimentos e análises aqui descritos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Médias de temperatura máxima, temperatura mínima e índice pluviométrico na área experimental.....	12
Figura 2. Altura de planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	14
Figura 3. Número de nós por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	15
Figura 4. Número de ramos por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	16
Figura 5. Número de vagens por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	17
Figura 6. Massa de grãos por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	18
Figura 7. Massa de mil grãos de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.....	19
Figura 8. Produtividade de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício.	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. METODOLOGIA.....	11
2.1 Área experimental.....	12
2.2 Delineamento experimental.....	12
2.4. Avaliações biométricas.....	14
2.5. Análise estatística	14
3. RESULTADOS	14
REFERÊNCIAS.....	25

COINOCULAÇÃO DA SOJA COM BIOINSUMOS ASSOCIADOS AO SILÍCIO

Resumo: A soja é uma das culturas mais importantes para o agronegócio brasileiro e mundial, mas tem tido aumento de custo continuamente para atingir as altas produtividades. Neste contexto, a utilização de bioinsumos e outros produtos diferenciados podem agregar valores para a cultura, tanto do ponto de vista financeiro, social e ambiental. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da coinoculação dos bioinsumos *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas fluorescens* associados ao silício sobre características de crescimento, componentes de produção, produtividade de grãos e nutrientes da parte aérea determinado por fluorescência de raio X. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 7, com 14 tratamentos e quatro repetições, totalizando 56 parcelas. Os tratamentos formados foram: Controle; *Bradyrhizobium japonicum* + *A. brasilense* (B+A); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *B. aryabhattai* (B+A+BA); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *P. fluorescens* (B+A+P); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* (B+BA); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* + *P. fluorescens* (B+BA+P); *B. japonicum* + *P. fluorescens* (B+P) aplicados via sementes em coinoculação, na presença e ausência de silício foliar. A aplicação de silício ocorreu quando a planta se encontrava no estágio V6. A maior altura de planta foi obtida com o tratamento B+A+BA, tanto presença quanto na ausência de silício. Os tratamentos B+P e B+BA com uso de silício promoveram em média ganho no número de nós de 14,7% comparado a ausência de silício. Com uso de silício todos os tratamentos superaram o controle na formação vagens, enquanto na ausência de silício apenas o tratamento B+BA se igualou ao controle. O tratamento B+BA com uso de silício superou o controle em 36,3%. A maior massa de mil grãos foi atingida com o tratamento B+BA com silício que superou em 1,9% o tratamento sem silício e em 6,5% o controle. Sem o uso de silício o tratamento B+BA+P superou em 5,7% o controle. Sem uso de silício, o maior valor foi obtido com o tratamento B+A+P, que melhorou a produtividade de grãos em 13,7%. Conclui-se que o uso de silício associado a bioinsumos favorece características de crescimento, componentes de produção e produtividade de grãos de soja. O uso associado de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* na presença de silício resultou em maior produtividade de grãos de soja, sendo uma boa indicação para uso em campo.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*; *Pseudomonas fluorescens*.

Abstract: Soybean is one of the most important crops for Brazilian and global agribusiness, yet the costs required to achieve high yields have been continuously rising. In this context, the use of bio-inputs and other specialized products can add value to the crop from financial, social, and environmental perspectives. This study aimed to evaluate the effect of co-inoculating the bio-inputs *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, and *Pseudomonas fluorescens*, combined with silicon on growth characteristics, yield components, grain yield, and shoot nutrient content (determined via X-ray fluorescence). A randomized complete block design was used in a 2×7 factorial arrangement, comprising 14 treatments and four replications, for a total of 56 plots. The treatments were: Control; *Bradyrhizobium japonicum* + *A. brasilense* (B+A); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *B. aryabhattai* (B+A+BA); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *P. fluorescens* (B+A+P); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* (B+BA); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* + *P. fluorescens* (B+BA+P); and *B. japonicum* + *P. fluorescens* (B+P), all applied via seed co-inoculation, with and without foliar silicon application. Silicon was applied at the V6 growth stage. The greatest plant height was achieved with the B+A+BA treatment, regardless of silicon application. The B+P and B+BA treatments, when combined with silicon, promoted an average 14.7% increase in the number of nodes compared to the treatments without silicon. With silicon application, all treatments outperformed the control in pod formation, whereas in the absence of silicon, only the B+BA treatment performed similarly to the control. The B+BA treatment with silicon outperformed the control by 36.3%. The highest thousand-grain mass was achieved with the B+BA treatment combined with silicon, which outperformed the treatment without silicon by 1.9% and the control by 6.5%. In the absence of silicon, the B+BA+P treatment outperformed the control by 5.7%. Without silicon, the highest grain yield was obtained with the B+A+P treatment, which increased grain yield by 13.7%. It is concluded that the use of silicon combined with bio-inputs favors growth characteristics, yield components, and grain yield in soybean. The combined use of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus aryabhattai* in the presence of silicon resulted in higher soybean grain yield, making it a promising option for field application.

Keywords: *Glycine max*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*; *Pseudomonas fluorescens*.

1. INTRODUÇÃO

A soja é uma das commodities mais importantes do mundo (Brito; Silva; Leão, 2023) e o Brasil desempenha um papel fundamental nesse contexto. Sua importância pode ser vista por diferentes lados: econômico, político, na alimentação e no meio ambiente (Colussi *et al.*, 2016). Devido a essa alta demanda, a busca por alternativas eficientes na produtividade da cultura tem se intensificado, e o uso dos elementos não essenciais e os bioinsumos tem se destacado como uma opção vantajosa (Paiva; Bini, 2025).

Esses elementos possuem características que não atendem a todos os critérios clássicos, porém se destacam como bioestimuladores cruciais para o crescimento vegetal e para a tolerância ao estresse de plantas. Embora esses elementos não sejam indispensáveis para todas as plantas, quando suplementados, podem promover aumento da produtividade e eficiência no uso de nutrientes (Singhal *et al.*, 2022).

O silício (Si), apesar de não ser um elemento essencial, ele desempenha um papel ativo na resistência a doenças, estimulando mecanismos de defesa. Esse elemento é considerado benéfico para as plantas devido aos efeitos que ele proporciona para algumas culturas como, aumento na capacidade fotossintética, redução da faixa transpiratória (Dos Santos *et al.*, 2021), estimula o crescimento e reduz o estresse ocasionado pela deficiência hídrica (Adrees *et al.*, 2015). O Si considerado um indutor de resistência a diversas doenças de plantas (Cassel *et al.*, 2021), o Si regula positivamente a expressão de genes e proteínas relacionados a defesa, além de aumentar o acúmulo de metabólitos secundários, potencializando as defesas moleculares e bioquímicas (Singh *et al.*, 2020).

A busca por uma agricultura regenerativa e sustentável é cada vez maior, dando visibilidades para alternativas que diminuam os impactos ambientais (Souza; Castilho; Macedo, 2022). Os bioinsumos oferecem uma solução para reduzir esses impactos, são produtos de origem biológica que promovem o desenvolvimento vegetal através da ação de microrganismos que ajudam a manter o equilíbrio do sistema (Silva *et al.*, 2022). Existe um grande número de bioinsumos distribuídos no país, os inoculantes a base de bactérias fixadoras de nitrogênio, do gênero *Bradyrhizobium* sp. e *Rhizobium* sp. e os promotores de crescimento como *Azospirillum* sp., se destacam nas lavouras (Richter; Schoffel; 2025). Dentre as diversas formas de aplicações desses bioinsumos, podemos destacar a coinoculação que consiste na aplicação conjunta de dois ou mais microrganismos (Cipriani *et al.*, 2025).

A coinoculação é uma técnica alternativa que consiste na utilização de diferentes microrganismos associados (Bárbaro *et al.*, 2009). A coinoculação contribui de forma

positiva para a cultura da soja, aumentando o seu sistema radicular e o número de nódulos por planta (Dalolio *et al.*, 2018), além do efeito hormonal atuando diretamente na promoção de crescimento vegetal, resultando em uma maior absorção de água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento da cultura e consequentemente maior produtividade (Oliveira *et al.*, 2019). Contudo, a produção de hormônios deve manter um equilíbrio, pois quando ocorre uma superprodução pode ocasionar efeitos negativos como crescimento anormal, menor crescimento, senescência precoce (Li *et al.*, 2024).

O gênero *Pseudomonas* são bactérias que proporcionam para as plantas maior crescimento e proteção contra doenças e estresses. Esses microrganismos também são capazes de solubilizar fósforo, potássio e zinco, podendo também fixar nitrogênio, proporcionando uma maior disponibilidade de nutrientes para as raízes (Mehmood *et al.*, 2023).

As bactérias do gênero *Bacillus* estabelecem relações simbióticas com as plantas que beneficiam processos fisiológicos dos vegetais demonstrando um grande potencial para o biocontrole de patógenos (Dias; Santos, 2022). O *Bacillus Aryabhatai* é um microrganismo considerado benéfico para algumas culturas. Santos *et al.* (2017) concluíram que o *Bacillus* proporcionou uma maior biomassa radicular na cultura do milho e em genótipos de cana. O microrganismo também pode influenciar a germinação de sementes em condições ótimas de desenvolvimento quanto em condições de estresse podendo ser uma alternativa promissora na agricultura (Silva; Silva, 2023).

A associação do Si com microrganismos auxilia a potencializar o crescimento, absorção de nutrientes, saúde do solo e maior tolerância ao estresse (Ling *et al.*, 2025). A coinoculação desse elemento com microrganismos tende a gerar um efeito sinérgico, proporcionando maior área foliar, biomassa de raiz e parte aérea e altura de planta (Shabbir *et al.*, 2021).

Considerando a importância do uso de bioinsumos e do silício na agricultura moderna, este trabalho parte da hipótese de que a coinoculação da soja com microrganismos benéficos associados ao silício promove melhorias no desenvolvimento vegetativo, na eficiência nutricional, aumenta absorção de nutrientes pela soja e aumenta a produtividade da cultura.

Objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da coinoculação dos bioinsumos *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhatai* e *Pseudomonas fluorescens* associados ao silício via foliar sobre características de crescimento, nutrientes da parte aérea, componentes de produção e produtividade de grãos da soja.

2. METODOLOGIA

2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul-MS, com latitude de 18°48'459" Sul, longitude 52°36'003" Oeste e altitude de 820 metros. O clima é classificado como tropical úmido, a temperatura anual fica compreendida entre 13 a 28°C, a precipitação pluvial média é de 1.850 mm, com concentração de chuvas no verão e seca no inverno (Cunha; Magalhães; Castro, 2013). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2018).

Os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar, durante a condução do experimento, estão apresentados na Figura 1.

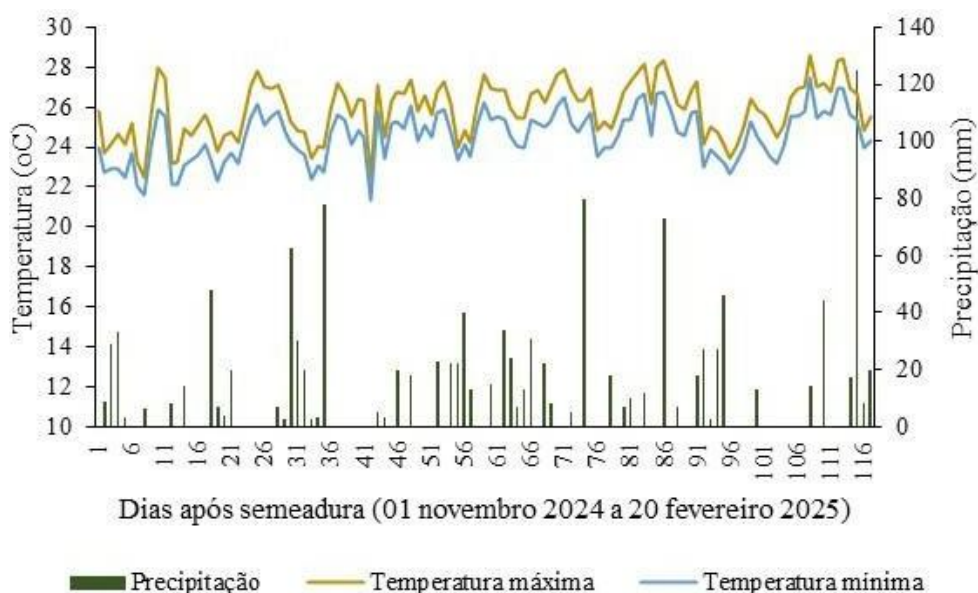


Figura 1. Médias de temperatura máxima, temperatura mínima e índice pluviométrico na área experimental do campus da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-MS, durante o período do experimento.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 7, com 14 tratamentos e quatro repetições, totalizando 56 parcelas. Os tratamentos foram formados pela combinação de *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas fluorescens*, aplicados via sementes em

coinoculação, na presença e ausência de Si foliar. A aplicação de Si ocorreu quando a planta se encontrava no estágio V6 (estádio vegetativo).

Os tratamentos formados foram: Controle; *Bradyrhizobium japonicum* + *A. brasilense*(B+A); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *B. aryabhattai* (B+A+BA); *B. japonicum* + *A. brasilense* + *P. fluorescens* (B+A+P); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* (B+BA); *B. japonicum* + *B. aryabhattai* + *P. fluorescens* (B+BA+P); *B. japonicum* + *P. fluorescens* (B+P) na presença e ausência de silício foliar. Para fornecer a fonte de Si, utilizou-se o produto comercial K-forte em pó, obtido a partir de rocha de silito glauconítico, contendo 25% de Si e 10% de K. Essa fonte apresenta baixa solubilidade, mas é composta por nanopartículas, permitindo a absorção de Si tanto na forma de ácido monossilícico quanto na forma de nanopartículas. Segundo Goswami et al. (2022), nanopartículas com diâmetro entre 5 e 20 nm podem penetrar facilmente na parede celular e alcançar a membrana plasmática.

As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas de cinco metros de comprimentos cada, espaçadas entre si em 0,50 m, obtendo a distribuição de 15 sementes por metro. Considerou-se como área útil da parcela as três linhas centrais. A cultivar utilizada foi a 7621I2X.

2.3 Condução do experimento

O experimento foi conduzido de 01 de novembro de 2024 a 20 de fevereiro de 2025, sendo que antes da instalação do experimento foi realizada amostragem de solo na camada de 0-20 cm. A análise de solo apresentou os seguintes valores de pH (CaCl_2) = 5,5; P (Mel.), K, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn = 43,2; 90,8; 5,8; 0,47; 1,19; 27,07; 13,88; 6,89 mg dm^{-3} , respectivamente; Ca, Mg, H^+Al e CTC = 5,02; 1,52; 3,67; 10,44 cmolc dm^{-3} , respectivamente e V% = 64,85. Os valores para textura do solo foram: argila = 495 g dm^{-3} , silte = 50 g dm^{-3} e areia = 455 g dm^{-3} .

Antecedendo a semeadura, no dia 24 de outubro de 2024, foi realizada a dessecação da área com glifosato na dosagem de 3 L ha^{-1} do produto comercial Zapp. No dia 01 de novembro de 2024 foi realizada a semeadura da soja, com uma semeadora mecanizada. Juntamente com a semeadura foi realizada uma adubação de plantio com o formulado 00-25-15 na dose de 200 kg ha^{-1} . No estágio de crescimento V6 foi realizada uma adubação de cobertura com cloreto de potássio, aplicando 30 $\text{kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$.

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado herbicida Zapp na dosagem de 1 L ha⁻¹, em duas aplicações, aos 20 e 30 DAS (dias após semeadura). Não foi realizada nenhuma aplicação de inseticida e fungicida durante a condução do experimento.

2.4. Avaliações biométricas

No momento da colheita, foram coletadas cinco plantas das três linhas centrais, por parcela para determinação da altura total da planta, medido do colo até última gema da haste principal, número de nós e número de ramos por planta, número de vagens por planta e massa de grão por planta. Posteriormente, as três linhas da parcela foram colhidas e trilhadas para a determinação de massa de grãos por hectare (produtividade) e massa de mil grãos. Todas massas de grãos foram ajustadas para 13% de umidade.

2.5. Avaliação nutricional por fluorescência de raio X

Para determinação dos nutrientes da parte aérea, foram coletadas as amostras de plantas no estágio de R2 (pleno florescimento). As amostras foram lavadas e posteriormente secas em estufa a 65°C até atingir massa constante, em seguida foram moídas em moinho tipo willey e colocadas em sacos plásticos transparentes para a leitura no equipamento.

Foi utilizado um espectrômetro portátil de fluorescência de raios X (pXRF). A espectrometria portátil de fluorescência de raios X permite a identificação e quantificação de elementos, de Mg a U na tabela periódica, considerando a interação entre o feixe primário de raios X e a consequente radiação secundária de raios X emitida pelos átomos na amostra (fluorescência).

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2019).

2 RESULTADOS

3.1 Crescimento e produtividade

Nos tratamentos B+P e B+BA o uso do silício favoreceu o crescimento da planta de soja, resultando em ganhos de 3,5 e 1,8%, respectivamente, no entanto, os maiores valores

foram obtidos com o tratamento B+A+BA, tanto presença quanto na ausência de silício (Fig. 2). Nesse tratamento a maior altura de planta foi obtida na ausência de silício que teve ganho de 8,5% em relação ao controle e de 2,6% em comparação ao uso de silício. Quando se utilizou o silício, o ganho foi de 5,8% em relação ao controle (Fig.2).

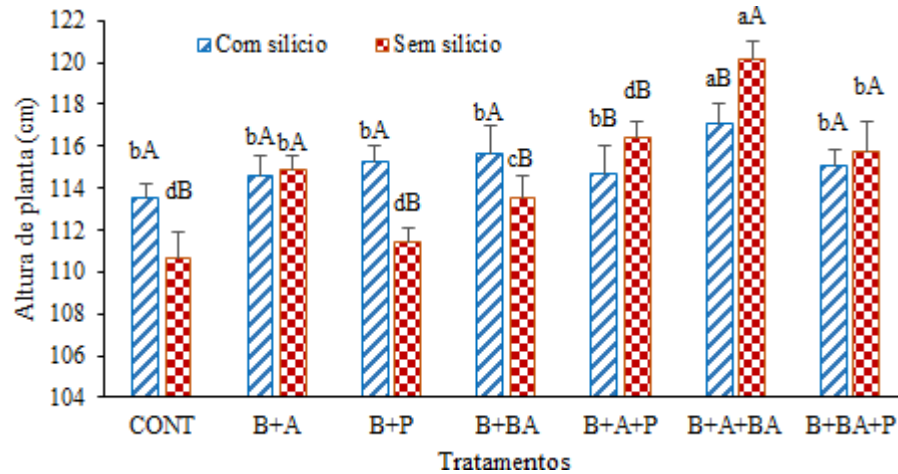


Figura 2. Altura de planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

Os tratamentos B+P e B+BA com uso de silício promoveram em média ganho no número de nós de 14,7% comparado a ausência de silício, enquanto a ausência de silício promoveu ganho de 8,2% para o tratamento B+A+BA. Nos tratamentos B+A+P e B+BA+P não houve diferença na formação de nós para o uso de silício (Fig. 3). Em média, esses tratamentos superaram o controle em 10,1%.

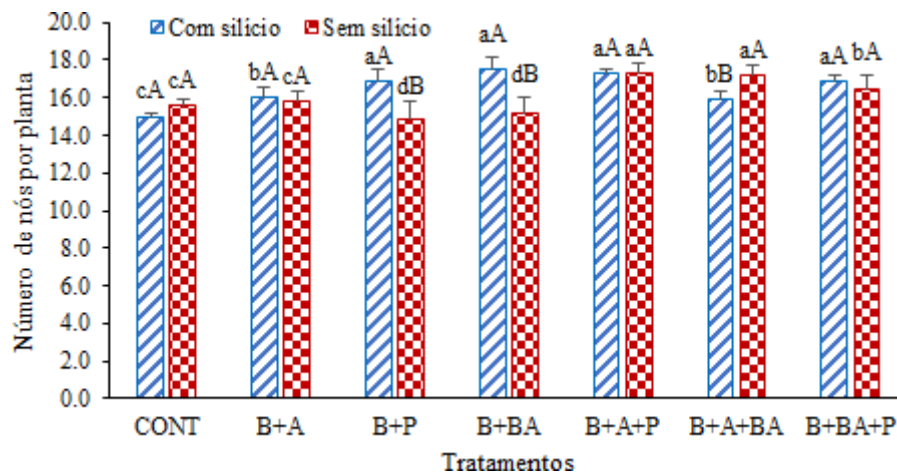


Figura 3. Número de nós por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

Para o número de ramos por planta, todos os tratamentos, com exceção de B+BA+P, obtiveram melhor resultado com a aplicação de silício. O tratamento B+A+BA com aplicação de silício superou o controle em 10,6%. Na ausência de silício, o uso de bioinsumos não favoreceu a produção de ramos por planta, uma vez que o controle apresentou média igual aos tratamentos B+A+P; B+A+BA e B+BA+P (Fig. 4).

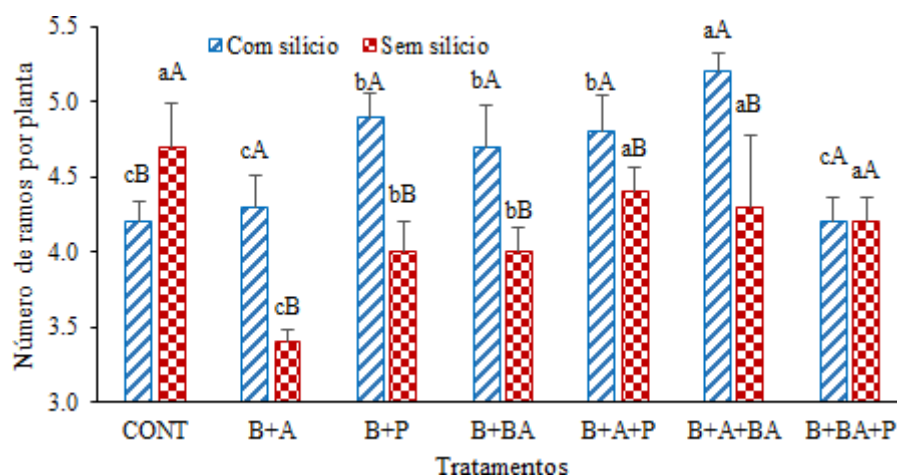


Figura 4. Número de ramos por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de

cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

O número de vagens por planta é um importante componente de produção, contribuindo de forma expressiva na formação da produtividade de grãos. Com uso de silício todos os tratamentos superaram o controle enquanto na ausência de silício apenas o tratamento B+BA se equiparou ao controle. O tratamento B+BA com uso de silício superou o controle em 36.3% (Fig. 5).

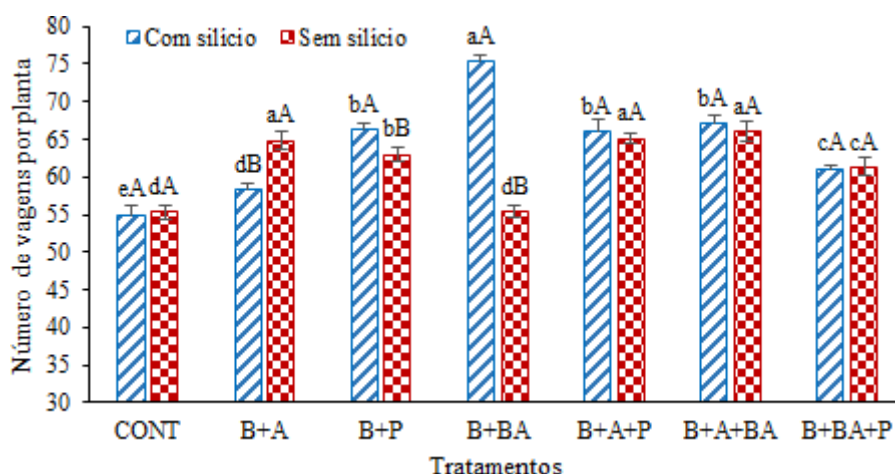


Figura 5. Número de vagens por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

Para culturas que conseguem manter uma população de plantas mais próximo do ideal dentro da indicação de cada cultivar, a massa de grãos por planta define a produtividade de grão. Todos os tratamentos, com ou sem uso de silício, com exceção de B+A, superaram os valores obtidos no controle. Com aplicação de silício, o tratamento B+BA superou o controle em 47,3% e sem o uso de silício os tratamentos B+P, B+A+P e B+BA+P promoveram um ganho médio de 35,0% em comparação ao controle (Fig. 6).

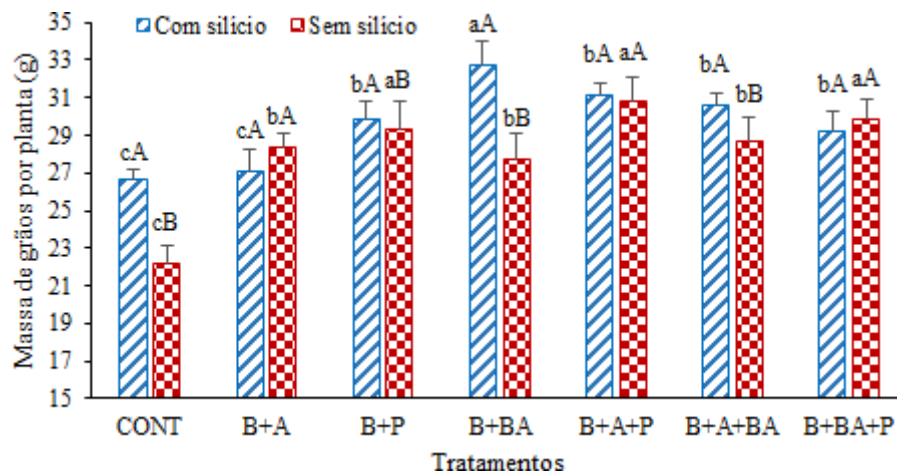


Figura 6. Massa de grãos por planta de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

A maior massa de mil grãos foi atingida com o tratamento B+BA com silício que superou em 1,9% o tratamento sem silício e em 6,5% o controle. Sem o uso de silício o tratamento B+BA+P superou em 5,7% o controle. Também é importante considerar que todos os tratamentos com ou sem silício superaram o controle, indicando a importância de definir a escolha dos bioinsumos capazes de melhorar de forma mais pronunciada a massa dos grãos produzidos (Fig. 7).

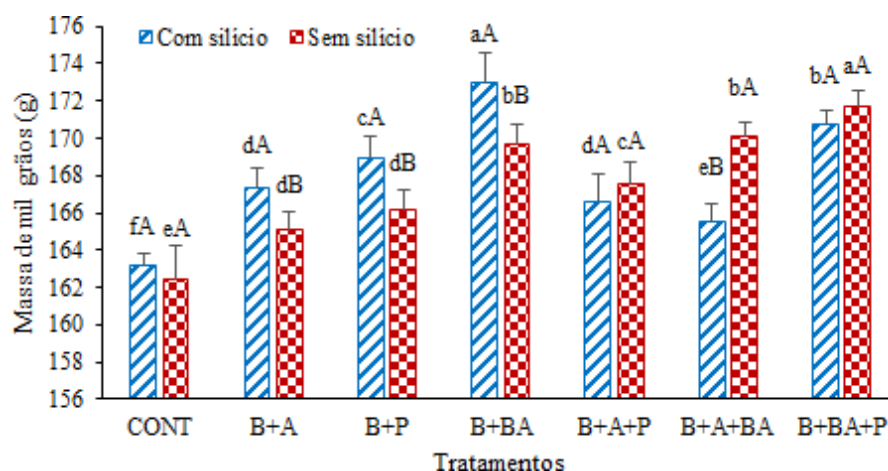


Figura 7. Massa de mil grãos de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

A variável mais importante no final do processo é a produtividade de grãos, por ser o fator preponderante para a escolha do produtor no momento de definir o tratamento a ser aplicado na área de produção. O tratamento B+A+BA com silício promoveu ganhos de 18,0% em relação a ausência de silício e de 21,1% comparado ao controle. Sem uso de silício, o maior valor foi obtido com o tratamento B+A+P, que melhorou a produtividade de grãos em 13,7%. Vale ressaltar que os tratamentos B+A e B+P na ausência de silício e B+BA+P com silício também superaram o controle.

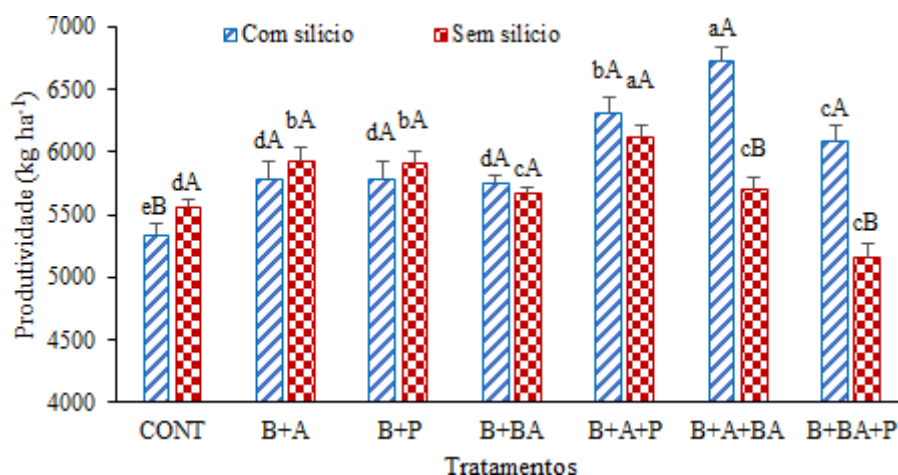


Figura 8. Produtividade de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

3.2 Características nutricionais

Com aplicação de Si, os valores observados na parte aérea da planta superaram em média em 25,1% os tratamentos com ausência do elemento (Fig. 9A), sendo que o tratamento com A. *brasilense* + B. *aryabhatai* se destacou, apresentando valor de Si 23,2%

acima do controle, seguido pelo tratamento com *B. aryabhattai* + *P. fluorescens* que superou o controle em 12,8%, ambos com aplicação de Si. Também é possível observar que sem a aplicação de Si foliar, o tratamento com *A. brasilense* + *B. aryabhattai* proporcionou maior teor desse elemento na planta, ficando 18,3% acima do controle.

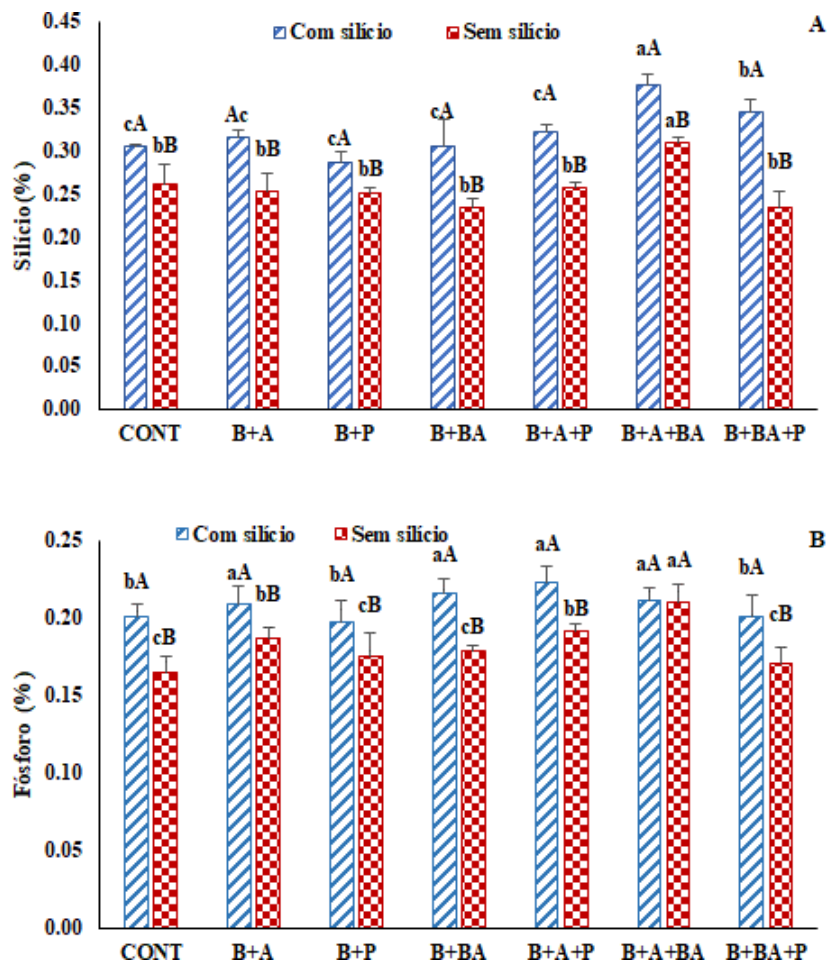


Figura 9. Silício (A) e fósforo (B) na massa seca da parte aérea de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

Para o valor de P (Fig. 9B), com aplicação de Si, apenas o tratamento com *A. brasilense* + *B. aryabhattai* não teve efeito, sendo que os tratamentos *A. brasilense*, *B. aryabhattai*, *A. brasilense* + *P. fluorescens* e *A. brasilense* + *B. aryabhattai* apresentaram

valor médio 6,8% acima do controle. Sem aplicação de Si, o maior valor de P foi encontrado no tratamento *A. brasilense* + *B. aryabhattai* que superou o controle em 27,2%.

Para o K, todos os tratamentos superaram o controle em 5,8% na média, independentemente do uso de Si (Fig. 10A), mas a aplicação de Si proporcionou um acréscimo de 7,1% no K da parte aérea das plantas de soja. Para o Ca (Fig. 10C), os tratamentos com *B. aryabhattai*, *A. brasilense* + *P. fluorescens* e *A. brasilense* + *B. aryabhattai* resultaram em ganho de 3,8% de Ca comparado ao controle e o uso de silício (Fig. 10D) resultou em aumento de 1,7% no Ca da parte aérea.

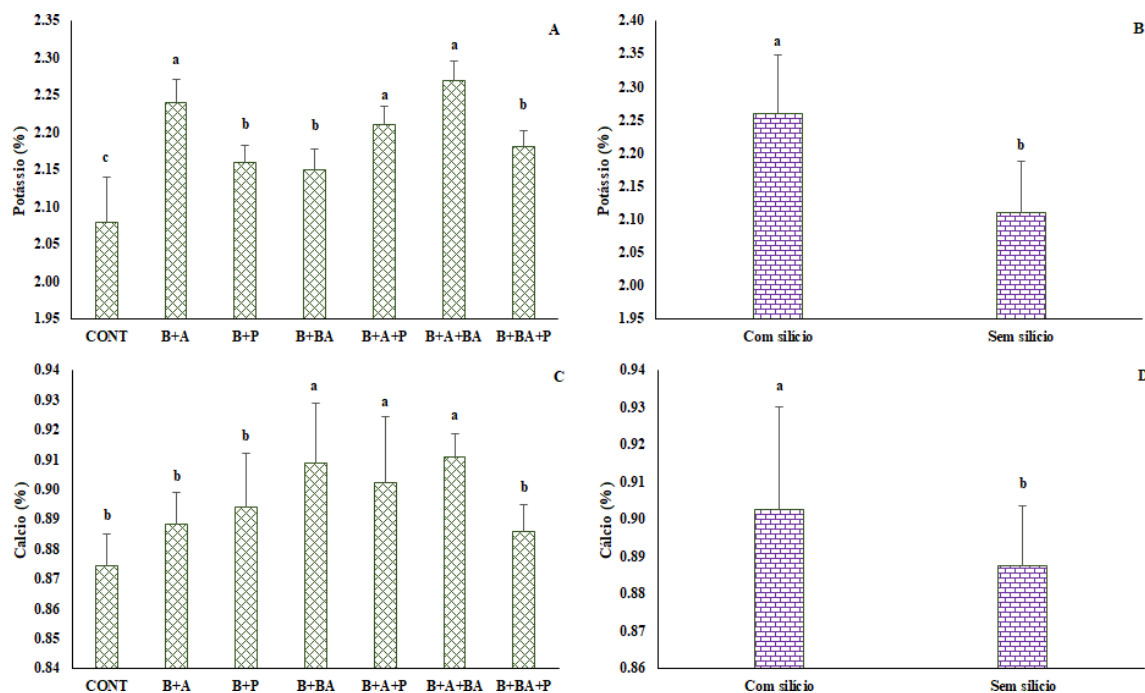


Figura 10. Teor de potássio e cálcio em função da aplicação de bioinsumos (A) e (B) e da aplicação de silício (C) e (D) na massa seca da parte aérea de soja. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

Os maiores valores de Mn (Fig. 11A) foram encontrados nos tratamentos *A. brasilense* e *A. brasilense* + *P. fluorescens*, com aplicação de Si, superando o controle em 29,4%. Para o Fe (Fig. 11B), o maior valor foi atingido com o tratamento *A. brasilense* + *B. aryabhattai* que superou o controle em 61,1%, também com aplicação de Si, mas todos os demais tratamentos, com exceção de *P. fluorescens* superaram o controle com uso de Si. Para o Cu (Fig. 11C), os tratamentos *B. aryabhattai* e *A. brasilense* + *P. fluorescens* superaram o controle em 33,3% com aplicação de Si, e o maior valor de Zn (Fig. 11D) foi

obtido no tratamento *A. brasilense* + *P. fluorescens*, também com aplicação de Si, superando o controle em 38,5%.

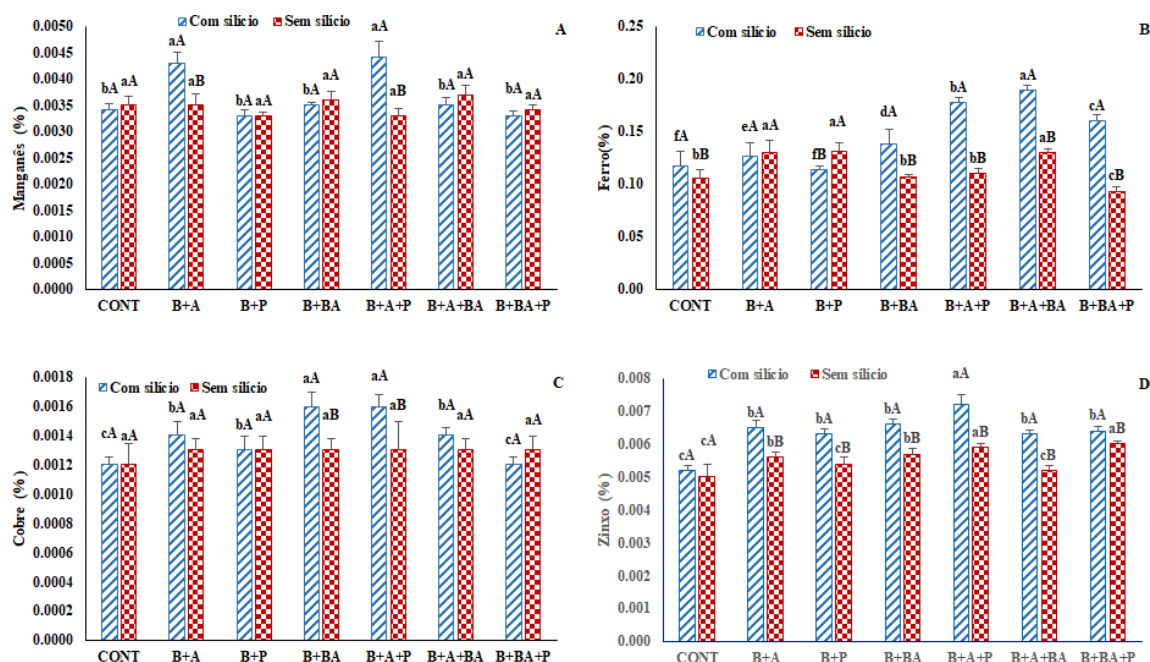


Figura 11. Manganês (A), ferro (B), cobre (C) e zinco (D) na massa seca da parte aérea de soja em função da aplicação de bioinsumos e silício. CONT = controle; B = *Bradyrhizobium japonicum*; A = *Azospirillum brasilense*; P = *Pseudomonas fluorescens*; BA = *Bacillus aryabhattai*. Letras maiúsculas diferentes dentro de cada tratamento e letras minúsculas diferentes entre os tratamentos com e sem silício representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de SkottKnott.

3 DISCUSSÃO

A aplicação de silício, apesar de não ter resultado em maior altura de plantas, conseguiu superar o controle, indicando efeito benéfico para a soja (Fig. 2), podendo ser confirmado pelos maiores teores desse elemento na parte aérea da planta (Fig. 9A). Embora os efeitos do Si sejam mais comuns e pronunciados em plantas acumuladoras como as gramíneas (Lima et al., 2019), pode contribuir para aumentar o porte das plantas de soja, provavelmente porque o Si, fortalece os tecidos e proporciona melhor suporte mecânico ao caule e as folhas, podendo aumentar o comprimento dos entrenós e consequentemente, a altura das plantas (Xu et al, 2023; Roosta et al., 2025). Além de proporcionar um aumento da capacidade fotossintética (Santos et al., 2021). Também ao interagir com compostos da parede celular como celulose, lignina entre outros, promove o alongamento celular (Trejo-Tellez et al., 2020). Além disso, o Si também ajuda a reduzir a

perda de água pela planta, diminuindo a transpiração e mantendo a turgescência necessária ao alongamento (Mir et al., 2022; Abdullah et al., 2025).

A maior altura de plantas foi atingida no tratamento B+A+BA, sem aplicação do Si (Fig. 2), mesmo assim foi verificado alto teor de Si nesse tratamento, que justifica a maior altura (Fig. 9A). Além disso, o *A. brasilense* é capaz de produzir auxinas, giberelinas e citocininas que promovem o crescimento radicular, aumentando a área de absorção (Galindo et al., 2025), e sistemas radiculares mais desenvolvidos absorvem mais nitrogênio, que está ligado a plantas mais altas (Ikram et al., 2025).

O *B. aryabhattai* também participou da formação de plantas de soja mais alta (Fig. 2), e é capaz de sintetizar os fitohormônios auxina e giberelina que contribuem para o aumento da altura das plantas (Deng et al., 2024), mas esse organismo pode apresentar características para solubilização de fosfatos, fixação de N, produção de sideróforos e solubilização de potássio (Chen et al., 2020), que aumenta a absorção de N, P e K e o teor de clorofila, todos favorecendo o crescimento da planta, como é possível observar maiores teores de P, K, Ca e Fe nesse tratamento (Fig. 9B, 10A, 10C e 11B).

Na formação de nós reprodutivos, todos os tratamentos associados a aplicação de Si superaram o controle (Fig. 3, 9A). Como o Si melhora características biométricas como altura de planta, área foliar, biomassa e volume radicular, resulta em maior produção de nós (Fig. 3) e ramificações, isso ocorre porque o Si reforça as paredes celulares, proporcionando uma melhora na arquitetura da copa, elevação da fotossíntese e a modulação de hormônios e estresse (Tellez et al., 2020) (Fig. 4), favorecendo a formação de botões reprodutivos (Santos et al., 2024). O *A. brasilense*, *B. aryabhattai* e *P. fluorescens* promovem maior vigor vegetativo das plantas de soja, favorecendo a produção e manutenção dos botões reprodutivos (Nascimento et al., 2023).

Observa-se que o silício favoreceu a formação de vagens de soja em diferentes combinações com bioinsumos, embora em algumas combinações não tenha promovido ganhos (Fig. 5). O Si aumenta clorofila e taxa fotossintética líquida, culminando em maior produção de flores e consequentemente maior produção de vagens (Wei et al., 2025), além disso o Si melhora o crescimento radicular, aumentando a absorção de água e nutrientes, principalmente em condições de estresse hídrico, sustentando a floração (Tripathi et al., 2021). Também, aumenta a lignina na parede celular, fortalecendo o caule, que reduz o acamamento, mantendo mais vagens viáveis (Hussain et al., 2020), além de proteger a planta contra danos oxidativos decorrentes de estresses, preservando as estruturas reprodutivas (Wei et al., 2025).

Em relação aos bioinsumos, o *A. brasilense* e o *B. aryabhattai*, atenuam o estresse hídrico e osmótico (Sun et al., 2025), produzem fitohormônios que modificam o equilíbrio hormonal das plantas (Giri et al., 2025), além de aumentar a área superficial da raiz, melhorando a absorção de água e nutrientes (Cassán et al., 2020; Fulaneti et al., 2025), e tudo isso pode resultar em maior número de vagens por planta. Para a *P. fluorescens*, muitas estirpes solubilizam fósforo inorgânico e orgânico, melhorando a disponibilidade desse nutriente, que favorece a formação de vagens de soja (Faria et al., 2022).

O silício não contribui diretamente para o enchimento de grãos e aumento de sua massa, mas apresenta diversas funções na planta que podem contribuir com essa variável. O número de vagens por planta (Fig. 5), massa de grãos por planta (Fig. 6) e massa de mil grãos (Fig. 7) estão intrinsicamente ligados, formando importantes componentes de produção. A contribuição do Si em atenuar os efeitos do estresse, aumento da absorção de água e nutrientes, estímulo a produção e aumento do tamanho dos nódulos, aumento da fotossíntese (Sah et al., 2022), favorecem a formação de maior número de grãos e aumento da massa desses grãos (Hussain et al., 2020). Para essas três variáveis, o melhor resultado foi obtido com uso do *B. aryabhattai* e nota-se para esse tratamento maiores teores de Si (Fig. 9A), P (Fig. 9B), K (Fig. 10A), Mn (Fig. 11A), Fe (Fig. 11B), Cu (Fig. 11C) e Zn (Fig. 11D) quando comparado ao controle sem aplicação de Si.

O P é importante para o metabolismo energético e divisão celular, promovendo aumento do número de vagens por planta e grãos por vagem (Dikr e Abayechaw, 2022). O K auxilia na regulação osmótica e translocação de açúcares para as vagens, melhorando o enchimento (Ashraf et al., 2023). O Ca é fundamental para a formação da parede celular da vagem e redução do aborto do embrião (Galeriani et al., 2022). O Zn e Fe participam de atividade enzimática, respiração e fotossíntese, aumentando o número de grãos, massa de mil grãos e produtividade (Dawar et al., 2025; Jarecki et al., 2025; Fasani et al., 2025).

Para produtividade de grãos, embora outras combinações tenham superado o controle, o maior destaque foi com o uso de *A. brasilense* e *B. aryabhattai* na presença de silício (Fig. 8). Nesse tratamento também foram observados maiores teores de Si (Fig. 9A), P (Fig. 9B), K (Fig. 10A), Ca (Fig. 10C) e Fe (Fig. 11B). O Si aumenta a produção de raízes, que apresenta forte correlação com produtividade de grãos (Zhang et al., 2025), promove maior produção de nódulos, aumentando a fixação biológica (Attipoe et al., 2023), aumenta o teor de clorofila e as trocas gasosas em 20 a 45%, em condições normais (Abdullah et al., 2025), além de aumentar a tolerância das plantas ao estresse (Wei et al., 2025) e ao acamamento (Hussain et al., 2020). Todos esses fatores são preponderantes para aumentar a produtividade de grãos em soja.

Os teores maiores de nutrientes podem aumentar o tamanho das vagens e dos grãos, aumentando seu peso e consequentemente a produtividade (Artyszak et al., 2025; Jena et al., 2025). Quando os nutrientes são limitados, as plantas geralmente reduzem o número de vagens (Goudsmit et al., 2023).

O *A. brasilense* e *B. aryabhattai* também contribuem para o aumento da produtividade de grãos de soja (Fig. 8), de forma muito parecida com os efeitos do Si, no entanto, por mecanismos diferentes. Por meio da produção de auxinas, giberelinas e citocininas, melhorando a absorção de água e nutrientes (Moretti et al., 2020; Picoli et al., 2022), também ajudam na formação de nódulos e maior fixação de N (Rondina et al., 2020), e atenuam os efeitos dos estresses abióticos (Sun et al., 2025). Além disso, o *B. aryabhattai* pode solubilizar P e Zn, disponibilizando para a planta, melhorando a produção e qualidade dos grãos (Wang et al., 2020).

4 CONCLUSÃO

O uso de silício associado a bioinsumos favorece características de crescimento, teores de nutrientes na parte aérea, componentes de produção e produtividade de grãos de soja. O uso associado de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai* na presença de silício resultou em maior produtividade de grãos de soja, sendo uma boa indicação para uso em campo.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, M.; WARAICH, E.; AHMAD, M.; HUSSAIN, S.; ASGHAR, H.; HAIDER, A.; ZULFIQAR, U.; AHMAD, Z.; SOUFAN, W.; PRASAD, P.; DJALOVIĆ, I. Improving soy be and rough tolerance via silicon-induced changes in growth, physiological, biochemical, and root characteristics. **Plant Signaling & Behavior**, v. 20, 2025. doi: 10.1080/15592324.2025.2465232

ADREES, M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; REHMAN, M. Z.; IBRAHIM, M.; ABBAS, F.; FARID, M.; QAYYUM, M. F.; IRSHAD, M. K. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 119, p. 186-197, 2015.

ARTYSZAK, A., GOZDOWSKI, D., JONCZAK, J., PAŁGOWSKI, K., POPIELEK, R., & AHMAD, Z. Yield and Quality of Maize Grain in Response to Soil Fertilization with Silicon, Calcium, Magnesium, and Manganese and the Foliar Application of Silicon and Calcium: Preliminary Results. **Agronomy**. 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040837>.

ASHRAF, A., ARCHANA, H., KUMAR, M., IQSHANULLAH, A., RAJASEKARAN, R., DHINESH, K., & BEGAM, S. Potential Foliar Chemicals for Enhancing Yield and Drought Tolerance in Leguminous Crops: A Review. **Legume Research – An International Journal**. 2023. <https://doi.org/10.18805/lr-5127>.

ATTIPOE, J.; KHAN, W.; TAYADE, R.; STEVEN, S.; ISLAM, M.; LAY, L.; GHIMIRE, A.; KIM, H.; SEREYVICHEA, M.; PROPEY, T.; RANA, Y.; Kim, Y.; (2023). Evaluating the Effectiveness of Calcium Silicate in enhancing Soybean Growth and Yield. **Plants**, v. 12, 2023, <https://doi.org/10.3390/plants12112190>.

BARBARO, I. M.; MACHADO, P. C.; JUNIOR, L. S. B.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; DA SILVA, J. A. A. Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, n. 1, p. 01-07, 2009.

BRITO, D.; DA SILVA, G. N.; DA SILVA, A. L. P. Estratégias de logística para o setor exportador de soja no Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 7, 2023, p. 473595- 473595-ISSN 2675-6218, ISSN 2675-6218.

BRITO, D.; SILVA, G. N.; LEÃO, A. P. S. Estratégias de logística para o setor exportador de soja no Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 7, 2023.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; DE CARLAN, C.; DONADÍO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F.; DE SOUZA, E.; ZORITA, M.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461 – 479, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PIMENTA, B. D.; LUDWIG, R. L.; DOS SANTOS, D. B. Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of**

Animal and Environmental Reaseach, Curitiba, n. 4, v. 4, p. 6601 – 6615, out./ dez. 2021.

CHEN, Y.; YE, J.; KONG, Q. Atividade solubilizadora de potássio de *Bacillus aryabhattai* SK1-7 e seu efeito promotor de crescimento em *florestas* de *Populus alba* L. **Forests**, v. 11, n. 12, 2020, <https://doi.org/10.3390/f11121348>.

CIPRIANI, L. P.; BRUM, L. N.; NUNES, R. L. S.; WRASSE, G. L.; BATISTA, C. B.; FULANETI, F. S.; STECCA, J. D. L.; MARTIN, T. N. (2025). Fisiologia e o manejo do uso de bioinsumos em culturas agrícolas. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 1 – 20, 2025. <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n4-049>

COLUCCI, J.; WEISS, C. R.; DE SOUZA, A. R. L.; OLIVEIRA, L. O agronegócio da soja: uma análise da rentabilidade do cultivo da soja no Brasil. **Revista espacios**, v. 37, n. 16, p. 23, 2016.

DALOLIO, R. S.; BORIN, E.; DA CRUZ, R. M. S.; ALBERTON, O. Co-inoculação de soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 7, n. 2, p. 1-7, 2018.

DAWAR, K., SHAH, M., ALOTAIBI, M., MIAN, I., MUHAMMAD, A., AHMAD, I., SHOAIB, S., MAHMOUD, E., & GHONEIM, A. Influence of sole and consortia application of micronutrients for biofortification of zinc, iron and boron for improving maize productivity. **Scientific Reports**, 15. 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18968-x>.

DENG, C.; ZENG, N.; LI, C.; PANG, J.; ZHANG, N.; LI, B. Mecanismos de interações mediadas por ROS entre *Bacillus aryabhattai* LAD e raízes de milho para promover o crescimento da planta. **BMC Microbiology** , v. 24, n. 327, 2024, <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03479-y>.

DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. Bacterias promotoras de crescimento de plantas; conceito e potencial de uso. Pantanal editora, 2022.

DIKR, W.; ABAYECHAW, D. Effects of Phosphorus Fertilizer on Agronomic, Grain Yield and Other Physiological Traits of Some Selected Legume Crops. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**. 2022. <https://doi.org/10.7176/jbah/12-12-01>.

FARIA, T.; VENTURA, M.; DE SOUZA, T.; NETO, M.; SEI, F.; SOUCHIE, E. Agronomic Efficiency and Phosphate Solubilization of *Pseudomonas fluorescens* and *Bradyrhizobium japonicum* in Leaf-Spray Inoculation and Seed Treatment in Soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 8, p. 117, 2022. DOI:10.5539/jas.v14n8p117

FASANI, E., FRANCESCHI, C., FURINI, A., & DALCORO, G. Effect of biostimulants combined with fertilization on yield and nutritional value of wheat crops. **BMC Plant Biology**, 25. 2025. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06804-3>.

FULANETI, F.; FERREIRA, M.; VEY, R.; VIEIRA, F.; CONCEIÇÃO, G.; SPANEVELLO, J.; VALDOVINO, V.; MARIO, R.; MARTIN, T. Growth-promoting bacteria in coinoculation in soybean. **Brazilian journal of biology**, v. 85, 2025. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.295709>.

GALERIANI, T., NEVES, G., FERREIRA, J., OLIVEIRA, R., OLIVEIRA, S., CALONEGO, J., & CRUSCIOL, C. Calcium and Boron Fertilization Improves Soybean Photosynthetic Efficiency and Grain Yield. **Plants**, 11. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11212937>.

GALINDO, F.; THIENGO, C.; PAGLIARI, P.; BERNARDES, J.; SANTOS, G.; LONGATO, P.; SOUSA, V. L.; FILHO, M.; LAVRES, J. Sinergismo de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* para aumento da eficiência do uso de N e crescimento do milho: Evidências de respostas isotópicas de ^{15}N e fisiológicas. **Physiologia Plantarum**, v. 177, 2025. <https://doi.org/10.1111/ppl.70205>.

GIRI, B.; CHATTARAJ, S.; RATH, S.; PATTNAIK, M.; MITRA, D.; THATOI, H. Unveiling the Molecular Mechanism of *Azospirillum* in Plant Growth Promotion. **Bacteria**, v. 4, n. 3, p.36, 2025. <https://doi.org/10.3390/bacteria4030036>.

GOUDSMIT, E., ROZENDAAL, D., TOSTO, A., & SLINGERLAND, M. Effects of fertilizer application on cacao pod development, pod nutrient content and yield. **Scientia Horticulturae**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>.

IKRAM, K.; MANSHA, M. Z.; MAHMOOD, K.; HAMEED, A.; OMAR, M. M.; HASSAN, R. M.; AMRAO, L.; ZAHEER, M. S.; BUTTAR, N. A.; NIAZ, Y.; AHMED, N.; IQBAL, R.; LU, S.; RIZWAN, M.; KHAIRIAH MUBARAK ALWUTAYD, K. M. Efeitos integrativos de diferentes práticas de cobertura morta e *Azospirillum brasilense* no crescimento, fisiologia e saúde do solo do trigo sob estresse hídrico. *Scientific reports*, v. 15, n. 33435, 2025, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19031-5>.

JARECKI, W., BORZA, I., ROSAN, C., DOMUȚA, C., & VICAȘ, S. The Effect of Foliar Micronutrient Fertilization on Yield and Nutritional Quality of Maize Grain. **Agronomy**. 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081859>.

JENA, J., LAYEK, M., NANDI, R., SANTRA, G., SAHU, G., & SAR, K. Impacts of Irrigation Regimes, Phosphorus and Potassium Fertilizer on the Root Development, Evapotranspiration and Grain Yield of Green Gram (*Vigna radiata* L.). **Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika**. 2025. <https://doi.org/10.18805/bkap763>.

kuHUSSAIN, S.; LI, S.; MUMTAZ, M.; SHAFIQ, I.; IQBAL, N.; BRESTIČ, M.; SHOAI, B.; SI-SI, Q.; LI, W.; MEI, X.; BING, C.; ŽIVČÁK, M.; RASTOGI, A.; SKALICKÝ, M.; HEJNAK, V.; LIU, W.; WENYU, Y. Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.)) **Journal of hazardous materials**, v. 401, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat>

LAVINSKY, A.; DETMANN, K.; REIS, J.; AVILA, R.; SANGLARD, M.; PEREIRA, L.; SANGLARD, L.; RODRIGUES, F.; ARAÚJO, W.; DAMATTA, F. O silício melhora o rendimento de grãos de arroz e a fotossíntese especificamente quando fornecido durante o estágio de crescimento reprodutivo. **Journal of plant physiology**, v. 206, p. 125-132, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.09.010>.

LIA, T.; JIA, W.; PENG, S.; GUO, Y.; LIU, J.; ZHANG, X.; LI, P.; ZHANG, H.; XU, R. A elevação endógena do cAMP em *Brassica napus* causa alterações nos níveis

de fitohormônios. **Plant Signaling & Behavior**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2024
<https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2310963>

LIMA, D. T. D., SAMPAIO, M. V., ALBUQUERQUE, C. J. B., PEREIRA, H. S., & MARTINS, W. G. Silicon accumulation and its effect on agricultural traits and anthracnose incidence in lignocellulosic sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 49, e54201, 2019.

LING, H.; XU, F.; SHABBIR, I.; SULAIMAN, Z.; SHAHBAB, M.; FARRAJ, D. A. A. Eficácia da bioformulação à base de turfa de co-inoculantes microbianos com silício para promoção do crescimento de seringueiras. **Plos One**, v. 20, n. 10, 2025.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331899>

MEHMOOD, N.; SAEED, M.; ZAFARULLAH, S.; HYDER, S.; RIZVI, Z. F.; GONDAL, A. S.; JAMIL, N.; IQBAL, R.; ALI, B.; ERCISLI, S.; KUPE, M. Impactos multifacetados de *Pseudomonas* spp. benéficas para plantas no manejo de diversas doenças de plantas e na melhoria da produtividade agrícola. **ACS Omega**, v. 8, p. 22296 -22315, 2023.

MIR, R. A.; BHAT, B. A.; YOUSUF, H.; ISLAM, S. T.; RAZA, A.; RIZYI, M. A.; CHARAGH, S.; ALBAGAMI, M.; SOFI, P. A.; ZARGAR, S. M. Multidimensional do silício para ativar o crescimento resiliente de plantas e mitigar o estresse abiótico. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819658>.

MORETTI, L.; CRUSCIOL, C.; KURAMAE, E.; BOSSOLANI, J.; MOREIRA, A.; COSTA, N.; ALVES, C.; PASCOALOTO, I.; RONDINA, A.; HUNGRIA, M. (2020). Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 418-428. <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>.

MUN, B.; HUSSAIN, A.; PARK, Y.; KANG, S.; LEE, I.; YUN, B. A PGPR *Bacillus aryabhattai* promove o crescimento da soja através da manutenção de nutrientes e clorofila e da produção de ácido butanoico. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1341993>.

NASCIMENTO, A.; MONTEIRO, A.; BENEDET, L. Efeito da co-inoculação com bactérias promotoras de crescimento na cultura da soja. **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, 2023. <https://doi.org/10.9734/jabb/2023/v26i1614>.

OLIVEIRA, L. B. G.; FILHO, M. C. M. T.; GALINDO, F. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; NETO, M. B.; BUZETTI, S. Formas e tipos de coinoculação na cultura da soja no Cerrado. **Revista de Ciencias Agrárias**, v. 42, n. 4, p. 924 – 932, 2019. <https://doi.org/10.19084/rca.15828>.

PAIVA, C. A. O.; BINI, D. Bioinsumos na Agricultura, tendências e desafios no Brasil. **Agropolítica em debate**. Sete Lagoas, 2025.

PICOLI, M.; PASQUETTO, J.; MURAOKA, C.; MILANI, K.; MARÍN, F.; SOUCHIE, E.; BRACCINI, A.; LAZARINI, E.; TORNELI, I.; CATO, S.; TEZOTTO, T. Combination of Azospirillum and Bradyrhizobium on Inoculant Formulation Improve Nitrogen Biological Fixation in Soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 4, 2022. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n4p145>.

RICHTER, A. V.; SCHOFFE, A. Métodos de tratamentos se sementes e interações com a inoculação com Bradyrhizobium na soja. Revista eletrônica interdisciplinar Barra do Garça – MT, Brasil, v. 17, n. 2, 2025.

RONDINA, A.; SANZOVO, A.; DA SILVA, G.; WENDLING, J.; NOGUEIRA, M.; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with Bradyrhizobium spp. And Azospirillum brasilense or treated with A. brasilense exudates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 537 – 549, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>.

ROOSTA, H.; TAVAKOLI, M.; ZAHEDI, B.; BIKDELOO, M. Os espectros de luz LED suplementares e a aplicação foliar de silício aliviam os efeitos adversos do estresse combinado de salinidade-alcalinidade em Physalis angulata. **Scientific Reports**, v. 15, n. 31515, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16982-7>.

SAH, S.; REDDY, K.; LI, J. Silicon Enhances Plant Vegetative Growth and Soil Water Retention of Soybean (Glycine max) Plant under Water-Limiting Conditions. **Plants**, v. 11, n. 13, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11131687>.

SANTOS, C. L.; DA SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. **Researche, Society and Development**, v. 10, n. 7. 2021.

SANTOS, J.; FILHO, A.; MELO, A.; SHARMA, P.; VENTURA, M. (2024). Efeito do silicato de potássio no desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em uma área de cultivo experimental no Cerrado brasileiro. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 7, p. 76-88, 2024.<https://doi.org/10.14295/bjs.v3i7.586> .

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. O Papel do Silício nas Plantas. *Research Society and Development*, v. 10, n. 7, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16247>

SANTOS, M. S.; STANCATTE, R. S.; FERREIRA, T. C.; DORIGHELLO, D. V.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MELO, I. S.; MAY, A.; RAMOS, N. P. Resistência ao déficit hídrico na formação de mudas de cana-de-açúcar mediada pela interação com *Bacillus sp.* **Científica, Joboticabal**, v. 45, n. 4, p. 414 – 421, 2017. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n4p414-421>

SHABBIR, I.; SAMAD, M. Y. A.; OTHMAN, R.; WONG, M.; SULAIMAN, Z.; JAAFAR, N. M.; BUKHARI, S. A. H. Impacto da inoculação de microrganismos no crescimento e acúmulo de Si em mudas de seringueira. **Journal of Rubber Research**, v. 24, p. 501 – 509, 2021.

SILVA, A. C. B.; COELHO, N. T.; FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P. Uso e efeito dos bioinsumos na agricultura. **Ciencias Agrárias: o avanço da ciencia no Brasil**, v. 4, 2022.

SILVA, I. P. C.; SILVA, W. F. Tolerancia ao deficit hidrico na germinação de sementes de soja tratadas com *Bacillus aryabhattai*. **Revista Cerrado Agrociencias**, v. 14, p. 46 – 55, 2023.

SINGH, A.; KUMAR, A.; HARTLEY, S.; SINGH, I. K. Silício: seu efeito benéfico na defesa das plantas contra a herbívora. **Revista de botânica experimental**, v. 71, p. 6730-6743, 2020. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa300>

SINGHAL, R. K.; FAHAD, X.; KUMAR, P.; CHOYAL, P.; JAVED, T.; JINGER, D.; SINGH, P.; SAHA, D.; PRATHIBHA, M. D.; BOSE, B.; AKASH, H.; GUPTA, N. K.; SODANI, R.; DEY, D.; SUTHAR, D. L.; LIU, K.; HARRISON, M. T.; SAUD, X.; SHAH, A. N.; NAWAZ, T. Elementos benéficos: novo atores na melhoria da eficiência do uso de nutrientes e da tolerância ao estresse abiótico, **Plant Growth Regul**, v. 100, p. 237 – 265, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00843-8>

SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P. R.; MACEDO, L. M. Um marco institucional para os bioinsumos na agricultura brasileira baseado na economia ecológica. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 266 – 285, 2022.

SUN, W.; SHAHRAJABIAN, M.; WANG, N. A Study of the Different Strains of the Genus *Azospirillum* spp. On Increasing Productivity and Stress Resilience in Plants. **Plants**, v. 14, 2025. <https://doi.org/10.3390/plants14020267>.

TELLEZ, L. I. T.; JIMENEZ, A. G.; SEPULVEDA, H. F. E.; OLIVEIRA, S. M. R.; BELLO, J. J.; MERINO, F. C. G. O silício induz efeitos horméticos dose-resposta no crescimento e nas concentrações de clorofilas, aminoácidos e açúcares em plantas de pimenta durante o estágio inicial de desenvolvimento. **Peerj**, v. 8, p. 1 – 28, 2020. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.9224>

TREJO, T. L.; GARCÍA, J. A.; ESCOBAR, S. H.; RAMÍREZ, O. S.; BELLO, B. J.; GÓMEZ, M. F. O silício induz efeitos horméticos de dose-resposta no crescimento e nas concentrações de clorofilas, aminoácidos e açúcares em plantas de pimenta durante o estágio inicial de desenvolvimento. **PeerJ**, v. 8, 2020. <https://doi.org/10.7717/peerj.9224>.

TRIPATHI, P.; NA, C.; KIM, Y. Efeito do tratamento com fertilizante de silício na formação de nódulos e rendimento em soja (*Glycinemax* L.). **European Journal of Agronomy**, v. 122, p. 126172, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126172>.

WANG, W.; SARPONG, C.; SONG, C.; ZHANG, X.; GAN, Y.; WANG, X.; YONG, T.; CHANG, X.; WANG, Y.; YANG, W. Triagem, identificação e capacidade de promoção do crescimento de bactérias solubilizadoras de fosfato da rizosfera da soja em sistemas de consórcio milho-soja. **BioRxiv**, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.12.15.422997>.

WEI, J.; LIU, L.; WEI, Z.; QIN, Q.; BAI, Q.; ZHAO, C.; ZHANG, S.; WANG, H. (2025). Silicon Nano-Fertilizer-Enhanced Soy bean Resilience and Yield Under Drought Stress. **Plants**, v. 14. <https://doi.org/10.3390/plants14050751>.

XU, R.; HUANG, J.; GUO, H.; WANG, C.; ZHAN, H. Funções do silício e do fitólito em plantas superiores. **Plant Signaling & Behavior**, v.18, 2023. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2198848>.

ZHANG, H.; LI, S.; WANG, S.; SHI, B.; WANG, X.; PANG, J.; SUN, H.; TIAN, P. H.; WU, Z. Silicon Enhances Yield in Dry-Cultivated Rice/Soybean Intercropping Systems by Altering Root Morphology and Distribution. **Food and Energy Security**. v. 14, 2025. <https://doi.org/10.1002/fes3.70111>.