

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E NA
MODULAÇÃO DA SOJA COM APLICAÇÕES DE BIOINSUMOS,
COBALTO, MOLIBDÊNIO E NÍQUEL**

JOÃO VICTOR DA SILVA FERREIRA

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2026

JOÃO VICTOR DA SILVA FERREIRA

**CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E NA MODULAÇÃO DA
SOJA COM APLICAÇÕES DE BIOINSUMOS, COBALTO, MOLIBDÊNIO E
NÍQUEL**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2026**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

Ferreira, João Victor da Silva

Características morfológicas, fisiológicas e na modulação da soja com aplicações de bioinsumos, cobalto, molibdênio e níquel / João Victor da Silva Ferreira. - 2026.
30 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2026.

Inclui lista de tabelas

1. Tratamento de sementes. 2. Fixação biológica do nitrogênio. 3. Micronutrientes. I. Silva. Givanildo Zildo da. II. Título.

CDD:

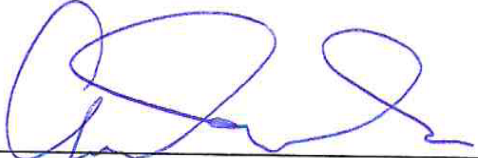
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

JOÃO VICTOR DA SILVA FERREIRA

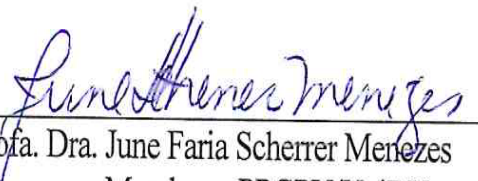
**“CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E NA NODULAÇÃO DA SOJA
COM APLICAÇÕES DE BIOINSUMOS, COBALTO, MOLIBDÊNIO E NÍQUEL”**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

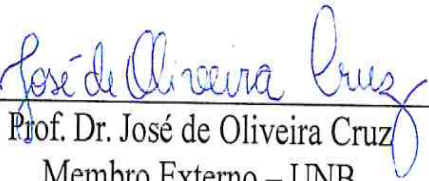
APROVAÇÃO: 26 de março de 2026



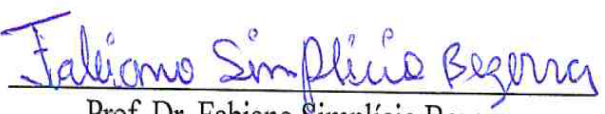
Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV



Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes
Membro – PPGPV/UniRV



Prof. Dr. José de Oliveira Cruz
Membro Externo – UNB



Prof. Dr. Fabiano Simplicio Bezerra
Membro – PPGPV/UniRV

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5 CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Descrição dos tratamentos aplicados via tratamento de sementes (TS) e/ou foliar em soja. Rio Verde, 2024.....	8
TABELA 2	Análise de variância das áreas foliares (AF1 e AF2), alturas de plantas (ALT1 e ALT2), altura no estádio R1, diâmetro do caule no estádio R1, número de folhas, número de nós, número de ramificações e número de vagens da soja, cultivar foco, submetida à aplicação ou não de bioinsumos e a diferentes doses de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026).....	10
TABELA 3	Análise de variância das variáveis fisiológicas: concentração interna de CO ₂ (CO ₂ int), fotossíntese líquida (PN), transpiração (E), condutância estomática (C), concentração externa de CO ₂ (CO ₂ out) e índice SPAD da soja, cultivar foco, avaliadas nos estádios V5 e R1, submetida à aplicação ou não de bioinsumos e a diferentes doses de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026).....	12
TABELA 4	Médias das variáveis morfológicas: área foliar (AF1), altura de plantas (ALT2), altura no estádio R1 e número de nós, bem como das variáveis fisiológicas: concentração interna de CO ₂ (CO ₂ int), transpiração (E), condutância estomática (C), concentração externa de CO ₂ (CO ₂ out) e fotossíntese líquida (PN), da soja, cultivar foco, em função da aplicação ou não de bioinsumos, nos estádios V5 e R1. (Rio Verde, 2026).....	13
TABELA 5	Médias da altura de plantas no estádio R1, número de nós e número de ramificações da soja, cultivar foco, em função da aplicação de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes, aplicação foliar ou combinação de ambas as vias. (Rio Verde, 2026).....	14

TABELA 6	Médias das variáveis fisiológicas: condutância estomática no estádio V5, índice SPAD no estádio V5, transpiração no estádio R1, condutância estomática no estádio R1, concentração externa de CO ₂ no estádio R1 e índice SPAD, da soja, cultivar foco, submetida a diferentes tratamentos envolvendo cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026).....	15
TABELA 7	Médias da variável número de ramificações da soja, cultivar foco, em função da interação entre a aplicação ou não de bioinsumos e os diferentes tratamentos com cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), aplicados via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026).....	16

RESUMO

FERREIRA. J. V. DA S. Mestrado, UniRV - Universidade de Rio Verde, março de 2026. **Características morfológicas e fisiológicas da soja com aplicações de bioinsumos, cobalto, molibdênio e níquel na eficiência da fixação biológica do nitrogênio.** Orientador: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.

A agricultura moderna enfrenta o desafio de atender a crescente demanda por produção agrícola em quantidade e qualidade. Nesse contexto, o uso de bioinsumos e a melhoria dos tratamentos culturais, como a adubação via sementes e foliar, são práticas essenciais para aprimorar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar características morfológicas e fisiológicas da soja, em função da utilização de bioinsumos e adição via sementes e/ou via foliar com os nutrientes Co, Mo e Ni, isolados e de forma conjunta. As sementes foram tratadas ou não com bioinsumos, incluindo *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkani* (líquido), *Bradyrhizobium japonicum* (turfo), *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus circulans* e *Bacillus haynesii*. O experimento seguiu um delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial duplo com testemunha adicional (2 x 12 + 1), consistindo na aplicação ou não de bioinsumos e nos 12 tratamentos relacionados à aplicação dos nutrientes Co, Mo e Ni via sementes e/ou foliar, além de um controle sem tratamento. A análise estatística foi aplicada a estatística univariada para identificar os parâmetros de qualidade fisiológica, morfoagrônoma e composição química que diferem significativamente, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Foram avaliadas variáveis morfológicas e fisiológicas da soja, incluindo área foliar, altura de plantas, número de nós, número de ramificações, fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e índice SPAD. Os resultados demonstraram que o uso de bioinsumos promoveu incremento no crescimento vegetativo e na atividade fisiológica da soja, com aumento da área foliar, altura de plantas, número de nós e maior eficiência nas trocas gasosas. A aplicação de Co, Mo e Ni proporcionou respostas distintas conforme a via de aplicação, sendo o tratamento de sementes mais eficiente para o estabelecimento inicial das plantas, enquanto a aplicação foliar favoreceu alterações na arquitetura vegetal e no estado nutricional das plantas. De forma geral, o uso de bioinsumos promoveu incremento no crescimento e na atividade fisiológica da soja, enquanto a aplicação de Co, Mo e Ni proporcionou respostas distintas de acordo com a via de aplicação. A aplicação via tratamento de sementes favoreceu principalmente o estabelecimento inicial das plantas, enquanto a aplicação foliar contribuiu para alterações na arquitetura e no estado nutricional das plantas. Assim, o manejo integrado de bioinsumos e micronutrientes representou uma estratégia promissora para potencializar o crescimento e a eficiência fisiológica da soja.

Palavras-chave: Tratamento de sementes. Fixação biológica do nitrogênio. Micronutrientes.

ABSTRACT

FERREIRA, J. V. DA S. Master's thesis, UniRV - University of Rio Verde, March 2026. **Morphological and physiological characteristics of soybeans with applications of bio-inputs, cobalt, molybdenum and nickel in the efficiency of biological nitrogen fixation.** Advisor: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva

Modern agriculture faces the challenge of meeting the increasing demand for agricultural production in both quantity and quality. In this context, the use of biological inputs and improved crop management practices, such as seed and foliar fertilization, are important strategies to enhance crop productivity and product quality. The objective of this study was to evaluate morphological and physiological characteristics of soybean plants as affected by the use of biological inputs and the application of cobalt (Co), molybdenum (Mo), and nickel (Ni), applied individually or in combination via seed treatment and/or foliar application. Seeds were treated or not with biological inputs, including *Bradyrhizobium japonicum* and *Bradyrhizobium elkanii* (liquid), *Bradyrhizobium japonicum* (peat-based), *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus circulans*, and *Bacillus haynesii*. The experiment was conducted using a randomized block design in a double factorial scheme with an additional control ($2 \times 12 + 1$), consisting of the presence or absence of biological inputs and twelve treatments involving the application of Co, Mo, and Ni via seed treatment and/or foliar spraying, in addition to an untreated control. Statistical analysis was performed using univariate analysis to identify parameters of physiological quality, morphoagronomic traits, and chemical composition that differed significantly according to the Scott–Knott test at a 5% probability level. Morphological and physiological variables were evaluated, including leaf area, plant height, number of nodes, number of branches, net photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, and SPAD index. The results demonstrated that the use of biological inputs promoted increases in vegetative growth and physiological activity of soybean plants, with greater leaf area, plant height, number of nodes, and higher efficiency in gas exchange. The application of Co, Mo, and Ni resulted in different responses depending on the application method, with seed treatment being more efficient for early plant establishment, while foliar application promoted changes in plant architecture and nutritional status. Overall, the use of biological inputs promoted improvements in soybean growth and physiological activity, while the application of Co, Mo, and Ni showed different responses depending on the method of application, with seed treatment favoring early plant establishment and foliar application influencing plant architecture and nutritional status. Therefore, the integrated management of biological inputs and micronutrients represents a promising strategy to enhance soybean growth and physiological efficiency.

Keywords: Seed treatment; biological nitrogen fixation; micronutrients.

1 INTRODUÇÃO

A produção de soja no Brasil tem alcançado números expressivos nas últimas safras. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra 2025/26, o país apresentou estimativa de produção recorde de aproximadamente 179,2 milhões de toneladas de soja, em uma área cultivada de cerca de 48,7 milhões de hectares, com produtividade média estimada em 3.696 kg ha⁻¹. Esses resultados refletem o contínuo avanço tecnológico, o aperfeiçoamento do manejo agrícola e a elevada eficiência dos produtores brasileiros, consolidando o Brasil como um dos principais protagonistas no cenário mundial da soja.

A soja também desempenha um papel crucial na sustentabilidade ambiental e na produtividade agrícola. Sua capacidade de fixar nitrogênio no solo e seu papel na rotação de culturas fazem dela uma cultura sustentável. Possui ainda a capacidade única de formar relações simbióticas, com bactérias fixadoras de nitrogênio, convertendo o nitrogênio atmosférico em uma forma utilizável pelas plantas. Esse processo reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, melhorando a saúde do solo e reduzindo a poluição ambiental (Zabarna & Cheresnyuk, 2023; Masih et al., 2024).

A simbiose entre a soja (*Glycine max*) e bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é iniciada pela liberação de flavonoides pelas raízes da planta, que ativam genes nas bactérias responsáveis pela produção dos fatores Nod. Esses fatores são moléculas sinalizadoras que induzem a formação de nódulos radiculares, onde ocorre a fixação biológica do nitrogênio (Hungria & Stacey, 1997). Devido a este processo, a soja se torna uma cultura ainda mais rentável, devido a grandes economias com N na produção.

Conforme descrito por Silva (2021), o processo de fixação biológica do nitrogênio na soja depende da atuação da enzima nitrogenase, que realiza a conversão do nitrogênio atmosférico em amônia, tornando-o disponível para ser utilizado pela planta em seu metabolismo.

De acordo com Sfredo e Oliveira (2010), os solos brasileiros apresentam frequentemente deficiência em molibdênio e cobalto, o que exige uma suplementação adequada desses micronutrientes para otimizar a produtividade agrícola. A Embrapa recomenda a aplicação desses elementos tanto por meio do tratamento de sementes quanto pela pulverização foliar, independentemente das condições de pH do solo.

Moura e Souza (2014), afirmam que a deficiência de cobalto (Co) e molibdênio (Mo) pode comprometer significativamente a eficiência da fixação biológica do nitrogênio (FBN) na

soja. Esses micronutrientes são fundamentais para o processo, pois o cobalto é importante para os microrganismos fixadores de nitrogênio, enquanto o molibdênio é um componente importante das enzimas redutase do nitrato e nitrogenase, indispensáveis para a conversão do nitrogênio atmosférico em uma forma assimilável pela planta.

De acordo com Santos (2017), o níquel (Ni) é um micronutriente para as plantas, pois participa como componente estrutural das enzimas urease e hidrogenase, que são fundamentais para o metabolismo do nitrogênio em leguminosas. Quando aplicado via tratamento de sementes na cultura da soja, o níquel pode melhorar significativamente o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), promovendo maior desenvolvimento da parte aérea e contribuindo para o aumento da produtividade dos grãos.

Diante da importância da fixação biológica do nitrogênio e do potencial dos bioinsumos e micronutrientes no desenvolvimento da cultura da soja, torna-se necessário compreender os efeitos dessas tecnologias sobre as características morfológicas e fisiológicas da planta. Assim, objetivou-se avaliar características morfológicas e fisiológicas da soja em função da utilização de bioinsumos e da aplicação via sementes e/ou foliar de cobalto, molibdênio e níquel, isolados ou em combinação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), originária do leste da Ásia, especialmente da região nordeste da China, conhecida como Manchúria (Hymowitz, 1970; Sedyama et al., 2009). Sua introdução no Brasil ocorreu de forma comercial inicialmente no Rio Grande do Sul por volta de 1935, com um cultivo de aproximadamente 702 hectares em 1942, destinado principalmente à alimentação de suínos (Sedyama et al., 2015). A partir da década de 1950, a soja expandiu-se para o Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil (Sedyama et al., 2009).

Desde a década de 1970, a soja passou a ser considerada o principal grão oleaginoso do mundo, consolidando-se como a principal cultura do agronegócio brasileiro. Seu cultivo expandiu-se rapidamente do Sul para o Centro-Oeste brasileiro, aumentando de 1,3 milhões para 8,8 milhões de hectares cultivados entre 1970 e 1980 (Dall'Agnol, 2007). A década de

1970 foi marcada por um aquecimento do mercado internacional e pela criação de políticas governamentais que impulsionaram a produção nacional (Tecnologias, 2005).

Atualmente, a soja é a cultura agrícola mais importante do agronegócio brasileiro, destacando-se pelo elevado retorno econômico e pela crescente demanda global. Na safra 2020/2021, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de soja, com uma produção recorde de 135,912 milhões de toneladas, representando um crescimento de 4,3% em relação ao ano anterior (CONAB, 2021). Aproximadamente 70% da produção nacional é destinada à exportação, sendo a China o principal destino (Aprosoja Brasil, 2025).

Além de sua relevância econômica, a cadeia produtiva da soja é responsável pela geração de aproximadamente 1,4 milhão de empregos diretos e indiretos, consolidando-se como um dos pilares do agronegócio brasileiro (Aprosoja Brasil, 2025). A produção de soja é essencial para o comércio exterior brasileiro, contribuindo significativamente para a balança comercial do país. Estima-se que aproximadamente 14% do total das exportações brasileiras sejam provenientes da soja e seus derivados (Aprosoja Brasil, 2025).

A busca por tecnologias que otimizem o cultivo da soja é constante, e envolve melhorias genéticas, práticas de manejo eficiente, e a correção de deficiências nutricionais do solo, como a suplementação de molibdênio e cobalto, que são elementos essenciais para a fixação biológica do nitrogênio (FBN). A aplicação desses micronutrientes, seja via tratamento de sementes ou aplicação foliar, é considerada fundamental para garantir a máxima eficiência da FBN e, consequentemente, maior produtividade das lavouras (Sfredo & Oliveira, 2010).

Portanto, a soja é um dos pilares do agronegócio brasileiro, e sua produção é essencial para o desenvolvimento econômico do país e para o suprimento da demanda mundial por alimentos, energia e outros produtos derivados do grão.

Bioinsumos

De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2020), bioinsumos são produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana destinados ao uso na produção agrícola, armazenamento e processamento de produtos agropecuários, estes insumos podem atuar promovendo o crescimento vegetal, a disponibilidade de nutrientes e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A aplicação de espécies de *Bacillus* no tratamento de sementes de soja tem demonstrado ser eficaz na mitigação dos efeitos negativos do estresse salino, promovendo melhores taxas de germinação (Paulino et al., 2024).

O tratamento de sementes de soja consiste na aplicação de diferentes insumos diretamente sobre as sementes, de forma homogênea, com o objetivo de assegurar sua eficiência e contribuir tanto para a proteção das sementes quanto para o adequado desenvolvimento inicial das plântulas, especialmente frente a condições ambientais adversas. Atualmente, o mercado dispõe de uma ampla variedade de produtos destinados a essa prática, incluindo fungicidas, inseticidas, nematicidas, produtos biológicos e elementos minerais (Avelar et al., 2011).

A utilização de biofertilizantes, como *Rhizobium* e bactérias solubilizadoras de fósforo, aliada a insumos orgânicos como esterco bovino, proporciona melhorias significativas nos parâmetros de crescimento e aumenta a produtividade das lavouras de soja (Samad et al., 2024).

Apesar dos benefícios que os bioinsumos oferecem, sua eficácia é variável e depende diretamente das condições ambientais e dos métodos de aplicação adotados. O uso inadequado ou excessivo de bioinsumos pode ser contraproducente e até prejudicial em algumas circunstâncias, especialmente quando aplicados em sementes de leguminosas (Maestre et al., 2024).

Hungria e Bohrer (2000), avaliaram a inoculação de *Bradyrhizobium* por pulverização em cobertura na soja, comparando-a com a inoculação tradicional via sementes e adubação nitrogenada. Os resultados indicaram que a inoculação em cobertura aumentou a nodulação e a matéria seca das plantas aos 45 e 60 dias após a emergência, proporcionando produtividade de grãos e acúmulo de nitrogênio equivalentes ao tratamento nitrogenado, e superiores ao controle sem inoculação.

Barbosa e Hungria (2007), estudaram a coinoculação de soja com *Bacillus subtilis* e rizóbios, demonstrando que *Bacillus subtilis* podem melhorar o desempenho simbiótico dos rizóbios, seja pela inibição de fitopatógenos ou pela produção de fitormônios, resultando em melhorias na nodulação e produtividade.

Portanto, é fundamental considerar cuidadosamente a dosagem e as estratégias de aplicação para garantir que os benefícios desses insumos sejam otimizados na cultura da soja.

Cobalto

O cobalto desempenha um papel fundamental na ativação da nitrogenase, enzima essencial, para o processo de fixação biológica do nitrogênio em plantas de soja. Quando presente em quantidades adequadas, esse micronutriente promove uma maior eficiência dos nódulos e estimula o crescimento da planta, especialmente quando utilizado em combinação com fertilizantes nitrogenados (Gad et al., 2013). Além disso, nanopartículas de cobalto têm mostrado efeitos positivos na melhoria do teor de clorofila e na eficiência do processo

fotossintético, resultando em aumentos significativos na produtividade das plantas (Luu & Phan, 2022).

A capacidade de absorção de cobalto pela soja varia de acordo com sua concentração no solo. Estudos indicam que concentrações mais elevadas do mineral no solo (entre 100 e 200 mg kg⁻¹) leva a um acúmulo considerável desse elemento nos tecidos vegetais, enquanto níveis mais baixos não apresentaram efeitos relevantes (Jayakumar & Jaleel, 2008).

Embora o cobalto possa beneficiar o crescimento e o teor nutricional das sementes de soja, é fundamental que sua aplicação seja cuidadosamente balanceada. A utilização inadequada desse micronutriente pode causar efeitos negativos na germinação e na saúde geral da planta, ressaltando a importância de mais estudos para definir com precisão os métodos e dosagens adequados para o uso do cobalto na cultura da soja.

O uso excessivo de cobalto na cultura da soja pode prejudicar o desenvolvimento normal das plântulas e reduzir significativamente as taxas de germinação. Conforme demonstrado por Boldrin et al. (2024), o cultivar SYN1163 apresenta alta sensibilidade a concentrações elevadas de cobalto e molibdênio, sendo recomendada uma dose ideal de 0,625 ml kg⁻¹ para garantir melhor qualidade das sementes. Além disso, aplicações foliares de cobalto contribuíram para o aumento dos níveis de nutrientes nas sementes, com um incremento de aproximadamente 30% na concentração de cobalto quando aplicados em doses de 40 e 60 g.ha⁻¹ (Cortese et al., 2020).

Molibdênio

O molibdênio é necessário para o funcionamento eficaz do *Rhizobium*, que forma relações simbióticas com as raízes da soja para fixar o nitrogênio atmosférico (Hasanah et al., 2023). Estudos mostraram que aplicação de Mo aumenta o número de nódulos radiculares, melhorando a fixação de nitrogênio e o crescimento geral da planta (Hasanah et al., 2023).

O molibdênio (Mo) desempenha um papel fundamental no metabolismo do nitrogênio em plantas, especialmente por meio da ativação de enzimas críticas como a nitrogenase e a redutase do nitrato. De acordo com Marcondes (2001), a principal função do Mo relaciona-se aos processos enzimáticos, sendo essencial para o metabolismo do nitrogênio nas plantas.

A nitrogenase é a enzima responsável por converter o nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃), processo essencial para o suprimento de nitrogênio às plantas por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* nos nódulos radiculares. Plantas leguminosas que apresentam deficiência de Mo frequentemente exibem sintomas de deficiência de nitrogênio, uma vez que a nitrogenase depende de íons de molibdênio e ferro para sua ativação adequada (Adriano, 1986).

O tratamento pré-semeadura com Mo tem sido associado ao aumento da produtividade da soja e à melhoria na qualidade das sementes, com resultados ótimos observados quando o Mo é combinado com outros nutrientes como o cobre (Воронкова et al., 2024). Em sistemas de cultivo consorciado, à aplicação de Mo na dosagem de 120 g ha⁻¹ melhorou significativamente métricas de crescimento como índice de área foliar e biomassa total, levando a maiores rendimentos (Jamali et al., 2023).

A aplicação foliar de Mo em diferentes estádios de crescimento influencia positivamente, a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas, embora as diferenças na produtividade nem sempre sejam significativas (Frota et al., 2021).

Embora os benefícios do Mo na cultura da soja sejam bem documentados, alguns estudos sugerem que aplicações excessivas podem não resultar em aumentos proporcionais na produtividade, indicando a necessidade de um manejo equilibrado de nutrientes nas práticas agrícolas (Воронкова et al., 2024).

O molibdênio (Mo) desempenha um papel essencial na melhoria do crescimento da soja e na fixação biológica do nitrogênio, particularmente através de sua interação com bactérias do gênero *Rhizobium*. Pesquisas indicam que o Mo é fundamental para a atividade da redutase do nitrato, que é vital para assimilação de nitrogênio em plantas de soja. A aplicação de Mo pode melhorar significativamente diversos parâmetros de crescimento e produtividade nas lavouras de soja.

Níquel

O níquel desempenha um papel essencial na ativação de enzimas como a urease e a NiFe-hidrogenase, que são fundamentais para o metabolismo eficiente do nitrogênio em plantas de soja. De acordo com Lima et al. (2023) e Rodak et al. (2024), o uso de níquel pode potencializar significativamente a fixação biológica do nitrogênio, com aumentos variando entre 7% e 20%, o que resulta em maior concentração de nitrogênio nas plantas e maior teor de proteína nas sementes (Rodak et al., 2024; Bosse et al., 2024).

Além disso, o níquel contribui para aumentar a resistência da soja contra patógenos, como *Phakopsora pachyrhizi*, o agente causador da ferrugem asiática da soja. À aplicação de níquel é capaz de reduzir a gravidade da doença em até 35%, sendo este efeito atribuído à indução de genes relacionados à defesa, que reforçam a imunidade da planta (Einhardt et al., 2020).

Os métodos de aplicação do níquel variam entre tratamento de sementes, pulverização foliar e fertilização do solo, produzindo resultados distintos. Entre esses métodos, o uso

integrado demonstra ser o mais eficaz para maximizar a produtividade da cultura (Rodak et al., 2024; Oliveira et al., 2024). Aplicações adequadas de níquel podem levar a aumentos consideráveis no peso seco da parte aérea e na produtividade total, com ganhos que chegam em até 1161 kg ha⁻¹ (Rodak et al., 2024).

Em um estudo conduzido por Eskew et al. (1983), observou-se que plantas de soja com deficiência de níquel acumularam concentrações tóxicas de ureia nas extremidades das folhas, resultando em necrose dessas áreas devido à redução da atividade da enzima urease. Os autores também destacaram que a ausência de níquel afeta negativamente o crescimento e a senescência das plantas, interfere no metabolismo do nitrogênio e prejudica a absorção de ferro.

Embora os benefícios do níquel na cultura da soja sejam comprovados, ainda é necessário estabelecer diretrizes padronizadas para o seu uso eficiente na agricultura. Pesquisas adicionais são essenciais para entender melhor os mecanismos fisiológicos envolvidos e aprimorar as estratégias de aplicação visando uma produção agrícola mais sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Área Experimental

O experimento foi desenvolvido na Universidade de Rio Verde, em casa de vegetação. Sementes de soja foram obtidas e caracterizadas quanto ao teor de água, peso de mil sementes e germinação (Brasil, 2025).

Implantação em casa de vegetação

A etapa foi implantada na casa de vegetação da Universidade de Rio Verde. Inicialmente sementes foram ou não tratadas com bioinsumos (*Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* (líquido) + *Bradyrhizobium japonicum* (turfoso) + *Bacillus aryabhattai* + *Bacillus circulans* + *Bacillus haynesii*), com doses de acordo com a recomendação presente na bula dos produtos utilizados. Foram dispostas em delineamento de blocos casualizados, em fatorial duplo com testemunha adicional 2 x 12 + 1; aplicação ou não de bioinsumo e os 12 tratamentos em aplicação via sementes e/ou foliar (V3-V5) de Co, Mo e Ni, além de um controle adicional sem tratamento, com quatro repetições (Tabela 1).

Tratamentos

TABELA 1 - Descrição dos tratamentos aplicados via tratamento de sementes (TS) e/ou foliar em soja. Rio Verde, 2024

Tratamento	Descrição
T1	Co, Mo e Ni aplicados no TS
T2	Co aplicado no TS
T3	Mo aplicado no TS
T4	Ni aplicado no TS
T5	Co, Mo e Ni aplicados via foliar (V3-V5)
T6	Co aplicado via foliar
T7	Mo aplicado via foliar
T8	Ni aplicado via foliar
T9	Co, Mo e Ni aplicados no TS e via foliar
T10	Co aplicado no TS e via foliar
T11	Mo aplicado no TS e via foliar
T12	Ni aplicado no TS e via foliar
Adicional	Sementes sem tratamentos (controle)

As unidades experimentais foram alocadas em vasos plásticos, com 3 kg de solo coletado, na camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico. O solo foi devidamente analisado física e quimicamente, seguindo as recomendações de Teixeira et al. (2017). Com posse da análise foram realizadas as correções e adubações necessárias de acordo com as recomendações descritas por Dias et al. (2022).

Após à aplicação dos tratamentos de acordo com a Tabela 1, foram semeadas 6 sementes de soja por vaso e aos 10 dias após a semeadura foi realizado um desbaste para manter uma plântula por vaso. A umidade do solo foi mantida em 70% de capacidade de campo durante toda a duração do ensaio.

As avaliações morfoagronômicas foram realizadas aos 30 e 45 dias após a emergência (DAE), contemplando as variáveis área foliar, altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, número de nós, número de ramificações, volume de raízes, número de nódulos, massa de nódulos e massa média de nódulos. A área foliar foi estimada por meio do aplicativo Easy Leaf Area, utilizando imagens digitais das plantas para quantificação da cobertura vegetal por análise de pixels. A altura das plantas foi determinada com régua graduada, medindo-se a distância do colo até o ápice da haste principal. O diâmetro do caule foi mensurado com paquímetro digital na região do colo. O número de folhas, nós e ramificações foi obtido por contagem direta em cada planta. O volume de raízes foi determinado pelo método do deslocamento de água em proveta graduada. Para avaliação da nodulação, as raízes foram

lavadas em água corrente, sendo os nódulos contados manualmente; a massa de nódulos foi determinada em balança analítica, e a massa média de nódulos foi obtida pela relação entre a massa total e o número de nódulos por planta.

As avaliações fisiológicas foram realizadas nos estádios V5 e R1, incluindo: fotossíntese líquida (P_n), concentração interna de CO_2 (C_i), concentração externa de CO_2 (C_a), condutância estomática (g_s) e transpiração (E), determinadas, por meio de analisador de gases por infravermelho (IRGA – *Infra Red Gas Analyzer*). O índice SPAD foi obtido utilizando clorofilômetro portátil, permitindo a estimativa indireta do teor de clorofila nas folhas.

Para avaliação de nódulos viáveis em soja, foi utilizada a seguinte metodologia:

- ✓ Lavagem e Seleção dos Nódulos: As raízes foram lavadas com água corrente para remover o solo e permitir a visualização dos nódulos. Em seguida, os nódulos foram selecionados, levando em consideração o tamanho e a coloração.
- ✓ Análise de Viabilidade: Nódulos por tratamentos foram cortados ao meio para verificar a coloração interna. Nódulos ativos, que apresentam fixação de nitrogênio, geralmente têm uma cor rosada ou avermelhada, devido à presença de leghemoglobina. Nódulos não viáveis ou inativos tendem a ser brancos ou esverdeados por dentro.
- ✓ Contagem e Pesagem: Os nódulos viáveis foram contados e pesados para obter uma medida da biomassa nodular.

Procedimento estatístico

No procedimento estatístico, inicialmente os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de Bartler.

Em seguida, aplicou-se a Anova, os dados com significância foram submetidos a estatística univariada, para identificar os parâmetros de qualidade fisiológica, morfoagronômica e composição química, sendo diferenciados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura experimental adotada possibilitou a avaliação dos efeitos isolados dos micronutrientes, bem como de suas interações com o uso de bioinsumos, aspecto essencial para a compreensão das respostas morfofisiológicas da soja. Verificou-se que a interação entre

bioinsumos e à aplicação via semente e/ou foliar de cobalto, molibdênio e/ou níquel foi significativa apenas, para a variável número de ramificações da soja, cultivar e foco (Tabela 2).

TABELA 2 - Análise de variância das áreas foliares (AF1 e AF2), alturas de plantas (ALT1 e ALT2), altura no estágio R1, diâmetro do caule no estágio R1, número de folhas, número de nós, número de ramificações e número de vagens da soja, cultivar foco, submetida à aplicação ou não de bioinsumos e a diferentes doses de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026)

Fonte de Variação	Área Foliar 1	Altura 1	Área Foliar 2	Altura 2	Altura R1
Bioinsumos (B)	3789,13**	0,98 ^{ns}	7,78 ^{ns}	10,72*	155,08**
CoMoNi	194,04 ^{ns}	2,15 ^{ns}	37,78 ^{ns}	1,52 ^{ns}	76,63**
B x CoMoNi	137,70 ^{ns}	1,07 ^{ns}	18,33 ^{ns}	1,02 ^{ns}	15,72 ^{ns}
Resíduo	300,04	1,38	51,41	2,18	16,63
CV (%)	23,01	10,85	6,59	12,99	10,91
Fonte de Variação	Diâmetro R1	Número de folhas	Número de nós	Número de ramificações	Vagens
Bioinsumos (B)	0,0094 ^{ns}	133,88 ^{ns}	3,47**	0,77 ^{ns}	18,61 ^{ns}
CoMoNi	0,012 ^{ns}	70,50 ^{ns}	0,95*	4,91**	32,21 ^{ns}
B x CoMoNi	0,009 ^{ns}	47,88 ^{ns}	1,04 ^{ns}	3,23*	19,49 ^{ns}
Resíduo	0,009 ^{ns}	51,93	0,39	1,36	24,77
CV (%)	11,40	9,45	6,23	9,08	19,78

*, ** e ^{ns}: significativo à 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, não significativo. CV: Coeficiente de variação

As variáveis área foliar 1 e área foliar 2 foram influenciadas exclusivamente pelo fator bioinsumo. Por sua vez, a altura de plantas no estágio R1 e o número de nós apresentaram efeito significativo isolados tanto com o uso de bioinsumos ou das aplicações via semente e/ou foliar de cobalto, molibdênio e/ou níquel.

A análise de variância apresentada na Tabela 2 demonstrou que as variáveis morfológicas da soja responderam de forma diferenciada à aplicação de bioinsumos e de micronutrientes Co, Mo e Ni, evidenciando a complexidade das interações entre estímulos biológicos e nutricionais ao longo do ciclo da cultura. Observou-se que os bioinsumos exerceram efeito significativo sobre a área foliar inicial e sobre a altura das plantas em estádios mais avançados, além de influenciarem diretamente o número de nós por planta. Esses resultados indicaram que o uso de bioinsumos promoveu maior vigor vegetativo, especialmente, nas fases iniciais de crescimento, período crítico para a definição do potencial produtivo da cultura.

O aumento da área foliar e do crescimento inicial observado nas plantas tratadas com bioinsumos indicou maior vigor e melhor estabelecimento da cultura. O vigor de sementes e o adequado suprimento de nutrientes nas fases iniciais foram determinantes para o desenvolvimento vegetativo das plantas, influenciando diretamente a capacidade de interceptação luminosa e o potencial produtivo da cultura (Carvalho; Nakagawa, 2012).

Os micronutrientes Co, Mo e Ni apresentaram efeito significativo, principalmente sobre a altura em R1, número de nós e número de ramificações (Tabela 3), sugerindo que sua atuação se intensificou à medida que a planta avançou no ciclo fenológico e aumentou sua demanda por nitrogênio e por atividade metabólica associada à fixação biológica. A interação entre bioinsumos e CoMoNi foi significativa para o número de ramificações, indicando que a resposta da planta aos micronutrientes depende da presença do estímulo biológico, reforçando a hipótese de que há sinergismo ou antagonismo, conforme a combinação adotada.

Os resultados fisiológicos evidenciaram que as trocas gasosas da soja foram fortemente influenciadas, tanto pelos bioinsumos ou pelos micronutrientes, com respostas distintas entre os estádios V5 e R1. Em V5, os bioinsumos promoveram efeito significativo sobre o CO₂ interno, a transpiração, a condutância estomática e o CO₂ externo, indicando maior atividade metabólica e maior eficiência no controle estomático, nas fases iniciais do desenvolvimento, este comportamento sugere que a inoculação favoreceu o estabelecimento fisiológico da planta, possivelmente por maior aporte de nitrogênio via fixação biológica.

A resposta positiva da soja à aplicação de micronutrientes relaciona-se à intensificação do metabolismo vegetal e ao melhor funcionamento de processos fisiológicos essenciais. O aumento da fotossíntese líquida, da condutância estomática e da transpiração observada nas plantas tratadas sugere maior atividade metabólica e melhor funcionamento fisiológico da planta.

TABELA 3 - Análise de variância das variáveis fisiológicas: concentração interna de CO₂ (CO₂ int), fotossíntese líquida (PN), transpiração (E), condutância estomática (C), concentração externa de CO₂ (CO₂ out) e índice SPAD da soja, cultivar foco, avaliadas nos estádios V5 e R1, submetida à aplicação ou não de bioinsumos e a diferentes doses de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026)

Estádio V5						
Fonte de Variação	CO ₂ int V5	PN (fotossíntese)	E (transpiração)	C (condutância)	CO ₂ out V5	Spad
Bioinsumos	3326,45*	55,62 ^{ns}	14,49**	78046,16**	35199,20*	17,31 ^{ns}
CoMoNi	700,69 ^{ns}	28,28 ^{ns}	0,62 ^{ns}	6044,80*	1960,62 ^{ns}	21,51*
BxN	471,55 ^{ns}	27,55 ^{ns}	0,56 ^{ns}	7258,89*	1017,64 ^{ns}	13,37 ^{ns}
Resíduo	437,80	16,27	0,38	3167,55	1416,77	8,56
CV (%)	4,03	16,53	11,64	19,34	8,74	7,89
Estádio R1						
Fonte de Variação	CO ₂ int R1	PN (fotossíntese)	E (transpiração)	C (condutância)	CO ₂ out R1	Spad
Bioinsumos	580,46 ^{ns}	91,40*	3,60**	20922,30**	2654,88*	2,65 ^{ns}
CoMoNi	444,21 ^{ns}	33,32 ^{ns}	2,50**	10002,38**	1328,68**	74,80*
BxN	622,99 ^{ns}	37,99 ^{ns}	1,56**	5965,99**	551,58 ^{ns}	28,98*
Resíduo	407,87	22,95	0,42	1724,06	400,79	10,26
CV (%)	3,80	25,96	18,05	27,50	4,27	7,98

*, ** e ^{ns}: significativo à 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, não significativo. CV: Coeficiente de variação

De acordo com Marcos-Filho (2015), a disponibilidade adequada de nutrientes é fundamental para manter a atividade metabólica das plantas e garantir maior eficiência no crescimento e desenvolvimento vegetal. Segundo o mesmo autor, a eficiência fisiológica das plantas associa-se ao adequado funcionamento dos processos metabólicos e ao estado nutricional, refletindo em maior capacidade fotossintética e melhor desenvolvimento vegetal.

No estágio R1, observou-se intensificação das respostas fisiológicas, com efeito significativo dos bioinsumos, sobre fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e CO₂ externo. Os micronutrientes CoMoNi também apresentaram efeito significativo sobre transpiração, condutância, CO₂ externo e índice SPAD, indicando melhora no estado nutricional e no funcionamento do aparato fotossintético. A interação entre bioinsumos e micronutrientes

foi significativa para várias variáveis em R1, demonstrando que, nesse estágio, a resposta fisiológica da soja passa a depender fortemente do manejo integrado entre nutrição mineral e estímulo biológico.

A comparação de médias apresentada na Tabela 4 confirma os efeitos observados na análise de variância, evidenciando que à aplicação de bioinsumos promoveu aumento significativo da área foliar, na altura das plantas em diferentes avaliações e no número de nós. Esses resultados indicaram que os bioinsumos favoreceram o crescimento vegetativo e a formação estrutural da planta, contribuindo para maior capacidade de interceptação luminosa e maior potencial fotossintético.

TABELA 4 - Médias das variáveis morfológicas: área foliar (AF1), altura de plantas (ALT2), altura no estágio R1 e número de nós, bem como das variáveis fisiológicas: concentração interna de CO₂ (CO₂ int), transpiração (E), condutância estomática (C), concentração externa de CO₂ (CO₂ out) e fotossíntese líquida (PN), da soja, cultivar foco, em função da aplicação ou não de bioinsumos, nos estádios V5 e R1. (Rio Verde, 2026)

Fonte de Variação	Área 1	Altura 2	Altura R1	Nós
Com bioinsumo	81,30 a	11,69 a	38,60 a	10,25 a
Sem bioinsumo	69,23 b	11,05 b	36,16 b	9,88 b
Estádio V5				
Fonte de Variação	CO ₂ int V5	E (transpiração)	C (condutância)	CO ₂ out V5
Com bioinsumo	500,67 b	5,70 a	318,28 a	412,09 b
Sem bioinsumo	536,44 a	4,95 b	263,50 b	448,89 a
Estádio R1				
Fonte de Variação	PN (fotossíntese)	E (transpiração)	C (condutância)	CO ₂ out R1
Com bioinsumo	19,39 a	3,81 a	165,13 a	463,65 b
Sem bioinsumo	17,51 b	3,43 b	136,76 b	473,75 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott Knot à 5% de probabilidade

Do ponto de vista fisiológico, plantas tratadas com bioinsumos apresentaram maior transpiração e maior condutância estomática, em V5 e em R1, além de maior taxa fotossintética em R1. Em contrapartida, os valores de CO₂ externo foram menores nas plantas inoculadas, indicando maior eficiência na assimilação de carbono. Esses resultados reforçaram que os bioinsumos não apenas estimularam o crescimento, mas também intensificaram a atividade fisiológica da soja, sobretudo em estádios críticos, para a definição do rendimento.

A Tabela 5 evidencia que a resposta da soja aos micronutrientes Co, Mo e Ni é fortemente dependente da via de aplicação. O tratamento de sementes com a combinação Co+Mo+Ni promoveu a maior altura de plantas em R1, demonstrando que a disponibilização

desses elementos no início do ciclo favorece o crescimento em altura e o vigor estrutural da cultura. Esse efeito pode ser atribuído ao papel essencial desses micronutrientes no metabolismo do nitrogênio e na fixação biológica, processos intensamente demandados durante o crescimento vegetativo.

TABELA 5 - Médias da altura de plantas no estágio R1, número de nós e número de ramificações da soja, cultivar foco, em função da aplicação de cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes, aplicação foliar ou combinação de ambas as vias. (Rio Verde, 2026)

Tratamentos	Altura R1	Número de nós	Número de ramificações
Co,Mo,NI TS	44,00 a	10,37 a	12,87 c
Co TS	39,56 b	10,25 a	12,37 c
Mo TS	39,00 b	10,12 a	12,50 c
Ni TS	39,25 b	9,50 b	11,62 c
Co, Mo, Ni foliar	36,06 c	9,87 b	14,87 a
Co Foliar	33,75 c	9,87 b	12,37 c
Mo Foliar	33,93 c	9,62 b	12,37 c
Ni Foliar	33,75 c	9,75 b	12,62 c
Co, Mo, Ni TS + Foliar	38,18 b	10,50 a	13,50 b
Co TS + Foliar	33,87 c	10,62 a	13,12 c
Mo TS + Foliar	37,81 b	10,25 a	12,87 c
Ni TS + Foliar	36,81 c	9,87 b	13,50 b
Testemunha	40 b	10,25 a	12,75 c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott - Knott à 5% de probabilidade

Por outro lado, os tratamentos exclusivamente foliares apresentaram menores valores de altura, porém promoveram maior número de ramificações, especialmente quando a aplicação conjunta de Co, Mo e Ni foi realizada via foliar. Esse comportamento sugere que a suplementação tardia pode alterar a arquitetura da planta, reduzindo a dominância apical e estimulando o desenvolvimento de ramos laterais. Assim, os resultados indicaram que diferentes estratégias de aplicação resultaram em respostas morfológicas distintas, com implicações diretas na arquitetura da planta.

Os dados da Tabela 6 demonstraram que os tratamentos influenciaram significativamente a condutância estomática, o índice SPAD, a transpiração e o CO₂ externo, confirmando que os micronutrientes Co, Mo e Ni modularam intensamente a fisiologia da soja. Tratamentos que envolveram à aplicação de micronutrientes apresentaram maiores valores de SPAD, indicando melhor estado nutricional relacionado ao nitrogênio e maior conteúdo de clorofila nas folhas.

TABELA 6 - Médias das variáveis fisiológicas: condutância estomática no estádio V5, índice SPAD no estádio V5, transpiração no estádio R1, condutância estomática no estádio R1, concentração externa de CO₂ no estádio R1 e índice SPAD, da soja, cultivar foco, submetida a diferentes tratamentos envolvendo cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026)

Tratamentos	Condutância V5	Spad V5	Transpiração R1	Condutância	CO ₂ out R1	Spad
1	334,00 a	39,05 a	3,67 a	188,37 a	470,27 b	37,80 c
2	323,12 a	36,33 b	3,82 a	187,12 a	466,42 b	39,31 b
3	314,62 a	36,67 b	3,75 a	178,37 a	474,32 a	36,20 c
4	263,75 b	37,62 b	3,22 b	144,37 a	468,53 b	33,06 d
5	303,50 a	37,13 b	3,41 b	98,61 b	481,76 a	42,45 a
6	288,12 a	36,36 b	4,35 a	183,25 a	467,25 b	39,00 b
7	295,75 a	40,85 a	3,13 b	99,25 b	483,53 a	43,27 a
8	264,37 b	36,83 b	4,12 a	143,75 a	468,93 b	42,46 a
9	270,12 b	35,70 b	2,37 c	128,00 b	439,35 c	42,12 a
10	252,75 b	36,92 b	4,45 a	175,25 a	459,10 b	39,73 b
11	322,25 a	34,15 b	3,98 a	164,12 a	459,15 b	43,10 a
12	291,62 a	35,70 b	3,31 b	95,62 b	490,85 a	40,65 b
13	257,62 b	37,57 b	3,50 b	176,25 a	463,66 b	42,45 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skot-Knott à 5% de probabilidade

Microrganismos promotores de crescimento vegetal podem estimular o desenvolvimento das plantas, por meio da produção de fitormônios, solubilização de nutrientes e aumento da eficiência da absorção mineral, resultando em melhorias na atividade fotossintética e no estado nutricional das plantas (Vessey, 2003).

Além disso, observou-se que alguns tratamentos promoveram aumento da condutância estomática e da transpiração, refletindo maior atividade metabólica e maior capacidade de troca gasosa. As variações observadas entre os tratamentos reforçaram que a resposta fisiológica não depende apenas da presença dos micronutrientes, mas também, da forma e do momento em que são disponibilizados à planta.

A inoculação com microrganismos benéficos pode aumentar a eficiência fisiológica das plantas, promovendo maior atividade fotossintética, condutância estomática e assimilação de carbono, fatores diretamente associados ao crescimento vegetal e à produtividade das culturas (Hungria; Nogueira; Araújo, 2013).

A Tabela 7 evidenciou que a interação entre bioinsumos e micronutrientes resultou em respostas diferenciadas, entre os tratamentos, indicando que o efeito dos micronutrientes pode ser potencializado ou atenuado pela presença do estímulo biológico. Em diversos tratamentos, a associação com bioinsumos resultou em maiores valores da variável avaliada, sugerindo

sinergismo entre os fatores. Entretanto, em alguns casos, a ausência de bioinsumos proporcionou respostas semelhantes ou superiores, indicando que determinadas combinações podem gerar competição metabólica ou sobreposição funcional entre os estímulos biológicos e nutricionais.

TABELA 7- Médias da variável número de ramificações da soja, cultivar foco, em função da interação entre a aplicação ou não de bioinsumos e os diferentes tratamentos com cobalto (Co), molibdênio (Mo) e/ou níquel (Ni), aplicados via tratamento de sementes e/ou aplicação foliar. (Rio Verde, 2026)

CoMoNi	Com Bio	Sem Bio
1	14,00 Aa	11,75 Bb
2	12,25 Aa	12,50 Ab
3	12,75 Aa	12,25 Ab
4	12,00 Aa	11,25 Ab
5	14,00 Ba	15,75 Aa
6	13,50 Aa	11,25 Bb
7	12,00 Aa	12,75 Ab
8	12,00 Aa	13,25 Ab
9	13,75 Aa	13,25 Ab
10	13,25 Aa	13,00 Ab
11	13,00 Aa	12,75 Ab
12	12,75 Aa	14,25 Aa
13	13,25 Aa	12,25 Ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skot-Knott à 5% de probabilidade

De modo geral, o uso de bioinsumos associado à nutrição mineral pode potencializar o crescimento das plantas, uma vez que microrganismos promotores de crescimento favorecem a disponibilidade e absorção de nutrientes, influenciando positivamente os processos fisiológicos e metabólicos (Glick, 2012). Além disso, a inoculação com bactérias benéficas pode estimular o crescimento vegetal, por meio da fixação biológica de nitrogênio, da produção de fitormônios e do aumento da eficiência na absorção de nutrientes, promovendo respostas fisiológicas e morfológicas diferenciadas nas plantas (Hungria et al., 2015).

Os resultados também indicaram que os bioinsumos contribuíram para o incremento do crescimento vegetativo da soja, refletido no aumento da área foliar, na altura das plantas e do número de nós, especialmente nas fases iniciais do desenvolvimento. Esse comportamento relaciona-se à ação de microrganismos promotores de crescimento vegetal, capazes de estimularem processos fisiológicos, por meio da fixação biológica do nitrogênio, da produção de reguladores de crescimento e da melhoria da absorção de nutrientes (Hungria; Campo; Mendes, 2017).

No aspecto fisiológico, a inoculação também contribuiu para maior atividade metabólica das plantas, evidenciada pelo aumento da condutância estomática, da transpiração e da taxa fotossintética em estádios mais avançados do ciclo. Por sua vez, os micronutrientes Co, Mo e Ni apresentaram efeitos complementares, influenciando variáveis relacionadas à arquitetura da planta e ao metabolismo do nitrogênio. Assim, os resultados demonstraram que o desempenho da soja resulta de interações fisiológicas complexas entre estímulos biológicos e nutricionais, reforçando a importância do manejo integrado de bioinsumos e micronutrientes para otimizar o desenvolvimento da cultura.

5 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa bibliográfica realizada e do experimento conduzido, chegou às seguintes conclusões:

A utilização de bioinsumos promoveu benefícios no desenvolvimento da soja, refletidos no aumento do crescimento vegetativo e na intensificação da atividade fisiológica das plantas, evidenciado pelo incremento da área foliar, da altura, do número de nós e pela maior eficiência nas trocas gasosas.

Em relação aos micronutrientes cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), observou-se que a forma de aplicação influencia as respostas da cultura. A aplicação via tratamento de sementes favoreceu, principalmente o crescimento em altura e o estabelecimento inicial das plantas, indicando maior eficiência na disponibilização precoce desses nutrientes. Por outro lado, à aplicação foliar resultou em maior emissão de ramificações e incremento no índice SPAD, sugerindo melhora no estado nutricional das folhas e alterações na arquitetura da planta.

Dessa forma, os resultados demonstraram que tanto o uso de bioinsumos ou à aplicação de micronutrientes proporcionaram efeitos positivos no desenvolvimento da soja, sendo que a resposta da cultura depende da via de aplicação e da interação entre estímulos biológicos e nutricionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer Verlag, 1986.

APROSOJA BRASIL. **A economia da soja no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia/>. Acesso em: 28 mar. 2025.

APROSOJA BRASIL. **A soja e sua importância econômica**. 2025. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>. Acesso em: 28 mar. 2025.

AVELAR, S. A. G. et al. Armazenamento de sementes de soja tratadas com fungicida, inseticida e micronutriente e recobertas com polímeros líquido e em pó. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1719–1725, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000130>. Acesso em: 28 mar. 2025.

BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e rizóbios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1325–1331, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900014>. Acesso em: 28 mar. 2025.

BOLDRIN, P. F.; SILVA, G. A.; RAMOS, J. D. Cobalt and molybdenum influence on soybean seed quality. **Journal of Plant Nutrition**, v. 67, n. 3, p. 512–526, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600020>. Acesso em: 28 mar. 2025.

BOSSE, C. M.; SOUZA, R. F.; PEREIRA, J. A. Nickel application in soybean: effects on nitrogen fixation and yield. **Agronomy Journal**, v. 116, n. 2, p. 338–350, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cft2.70068>. Acesso em: 28 mar. 2025.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ª. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021 – décimo segundo levantamento**. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras>. Acesso em: 28 mar. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Nova estimativa da Conab para safra de grãos 2024/25 é de 322,53 milhões de toneladas**. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/acompanhe-a-secom/noticias/2024/11/conab-projeta-safra-de-graos-2024-25-de-322-53-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 28 mar. 2025.

CORTESE, T. A.; PEREIRA, C. A.; OLIVEIRA, L. F. Foliar application of cobalt in soybean production. **Agronomy Research**, v. 18, n. 2, p. 254–263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.70160>. Acesso em: 28 mar. 2025.

COSTA, A. B.; PEREIRA, C. S.; OLIVEIRA, D. C. Expansão da soja no Brasil: perspectivas e desafios. **Revista de Agricultura Brasileira**, v. 75, n. 1, p. 52–66, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540306>. Acesso em: 28 mar. 2025.

DALL'AGNOL, A. **Histórico e evolução da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

DALPIZO, A. P.; MARQUES, C. A.; FREITAS, E. M. Produção e uso da soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agropecuária**, v. 12, n. 3, p. 102–115, 2020. Disponível em: : <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2024.v33.01962>. Acesso em: 28 mar. 2025.

EINHARDT, C.; LIMA, E. S.; OLIVEIRA, M. G. Nickel-induced resistance to Asian soybean rust in soybean plants. **Plant Pathology Journal**, v. 36, n. 4, p. 543–552, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200377>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. **Science**, v. 222, p. 621–623, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.222.4624.621>. Acesso em: 28 mar. 2025.

FROTA, A. S.; SILVA, E. C.; SOUZA, A. P. Efeitos da aplicação foliar de molibdênio na produtividade da soja. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 5, p. 714–726, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400003>. Acesso em: 28 mar. 2025.

GAD, N.; ABD EL-HADY, M.; MAHMOUD, M. A. Cobalt application and nitrogen fixation in soybean plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, n. 8, p. 741–746, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14213368>. Acesso em: 28 mar. 2025.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1–15, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HASANAH, Y.; RAHMAN, A.; KURNIAWAN, H. The role of molybdenum in enhancing nitrogen fixation in soybean. **International Journal of Agronomy**, v. 112, n. 3, p. 341–354, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012033>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNGRIA, M.; BOHRER, T. R. Inoculação de Bradyrhizobium em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277–287, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000400014>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNGRIA, M.; STACEY, G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5–6, p. 819–830, 1997. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1997SBI..29..819H/abstract>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Co-inoculation of soybeans with rhizobia and Azospirillum brasilense. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791–801, 2013. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013BioFS..49..791H/abstract>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811–817, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1012889/soybean-seed-co-inoculation-with-bradyrhizobium-spp-and-azospirillum-brasilense-a-new-biotechnological-tool-to-improve-yield-and-sustainability>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean crop with efficient rhizobia. **Applied Soil Ecology**, v. 110, p. 68–77, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0682-6>. Acesso em: 28 mar. 2025.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, p. 408–421, 1970. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860745>. Acesso em: 28 mar. 2025.

JAMALI, M.; RAZA, A.; AHMED, S. Influence of molybdenum on soybean growth in intercropping systems. **Agricultural Sciences**, v. 98, n. 2, p. 198–207, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07304-0>. Acesso em: 28 mar. 2025.

JAYAKUMAR, M.; JALEEL, C. A. Cobalt-induced changes in soybean plants. **Journal of Environmental Biology**, v. 29, n. 4, p. 615–620, 2008. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/cobalt-induced-changes-in-growth-and-biochemical-3sch02htrx.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2025.

LIMA, A. P.; RODRIGUES, F. C.; SILVA, A. C. Role of nickel in soybean nitrogen metabolism. **Journal of Plant Science**, v. 119, n. 4, p. 459–472, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180242>. Acesso em: 28 mar. 2025.

LUU, D. H.; PHAN, T. P. Effects of cobalt nanoparticles on soybean growth. **International Journal of Nanotechnology**, v. 13, n. 5, p. 431–440, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.07.13524>. Acesso em: 28 mar. 2025.

MAESTRE, P.; RODRÍGUEZ, J.; ORTEGA, A. Impacto dos bioinsumos na germinação e crescimento da soja. **Journal of Plant Science**, v. 45, n. 2, p. 312–329, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-07102024-103248/en.php>. Acesso em: 28 mar. 2025.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2^a. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

MARCONDES, J. A. P. **Nodulação e absorção de nitrogênio pela soja em resposta à aplicação de cobalto e molibdênio**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/28031/D%20-%20JOSE%20ALFREDO%20PRESTES%20MARCONDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 mar. 2025.

MASIH, S. et al. Advances in soybean production systems. **Journal of Crop Improvement**, v. 30, n. 2, p. 175–192, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13213073>. Acesso em: 28 mar. 2025.

MOURA, D. S.; SOUZA, A. G. Eficiência da fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, p. 7–13, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300007>. Acesso em: 28 mar. 2025.

OLIVEIRA, J. F.; SANTOS, M. C.; GOMES, L. A. Integrated application methods of nickel in soybean cultivation. **Brazilian Journal of Agricultural Research**, v. 58, n. 1, p. 98–112, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58149-w>. Acesso em: 28 mar. 2025.

PAULINO, A. L.; SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, M. G. Bioinsumos e estresse salino na soja. **Plant and Soil**, v. 84, n. 1, p. 102–119, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>. Acesso em: 28 mar. 2025.

RODAK, R. M.; COSTA, F. D.; DIAS, P. R. Nickel fertilization and its impact on soybean productivity. **International Journal of Agricultural Science**, v. 145, n. 3, p. 290–305, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/tbfkT5MjKXbD7mHvhsBLVxz/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 28 mar. 2025.

SAMAD, A.; AHMAD, R.; KHAN, M. S. Combinação de biofertilizantes e insumos orgânicos para aumento da produtividade da soja. **International Journal of Agricultural Research**, v. 56, n. 3, p. 478–490, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv11n7-033>. Acesso em: 28 mar. 2025.

SANTOS, J. V. **Forma de aplicação de níquel, cobalto e molibdênio na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19841>. Acesso em: 28 mar. 2025.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2009.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; REIS, M. S. **Tecnologia de produção da soja**. Viçosa: UFV, 2015.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: molibdênio e cobalto**. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ZABARNA, I.; CHERESHNYUK, A. Biological nitrogen fixation in soybeans. **Agricultural Science Review**, v. 28, n. 4, p. 342–359, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-3-6>. Acesso em: 28 mar. 2025.