

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA CARMELARIO FORNER

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO
ASSOCIADOS AOS MICRORGANISMOS EFICIENTES NA CULTURA DA SOJA**

IVAIPORÃ

2023

AMANDA CARMELARIO FORNER

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO
ASSOCIADOS AOS MICRORGANISMOS EFICIENTES NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal do Paraná, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

IVAIPORÃ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Elaborado por André Luiz Ferreira Vidal - CRB 9/1767

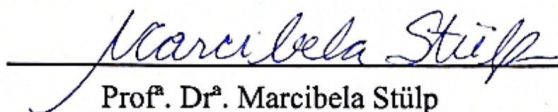
F727e	<p>Fornier, Amanda Carmelario. Efeitos da aplicação de níquel, cobalto e molibdênio associados aos microrganismos eficientes na cultura da soja/ Amanda Carmelario Fornier. - Ivaiporã, 2023. 38 f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Campus Ivaiporã - IFPR / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, 2023. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Soja - TCC. 2. Fertilizante foliar - TCC. 3. Índice de clorofila - TCC. I. Denis Santiago da Costa. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 633.34</p>
-------	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

Amanda Carmelario Forner

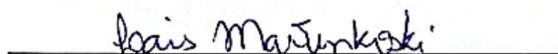
EFEITOS DA APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO ASSOCIADOS AOS MICRORGANISMOS EFICIENTES NA CULTURA DA SOJA

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof.ª. Dr.ª. Marcibela Stülp

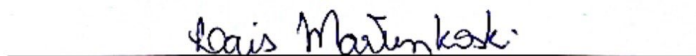
Instituto Federal do Paraná



Prof.ª. Me. Lais Martinkoski

Instituto Federal do Paraná


Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.



Coordenação do Curso Engenharia Agrônômica

Prof.ª. Me. Lais Martinkoski

Siape: 1227192



Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

Siape: 1400880

Ivaiporã, 2023

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos
meus amados pais Mauro e Cleide por todo
apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, expresso minha profunda gratidão a Deus por guiar meus passos até este momento e por estar presente em minha vida, sendo fonte de força e orientação.

Gostaria também de agradecer imensamente à minha família, em especial aos meus amados pais, Cleide e Mauro. Agradeço por sempre acreditarem em mim e por fornecerem o suporte e a base familiar essenciais para que eu chegasse até aqui. Sua confiança e amor incondicional são verdadeiros tesouros em minha jornada. Além disso, sou grato por terem cedido as áreas comerciais para a realização deste trabalho, demonstrando um apoio irrestrito.

A minha avó Cleusa todo o meu amor e gratidão por ser o alicerce de nossa família, pois nunca mediu esforços para nos ajudar. Obrigada vó por ser essa mulher maravilhosa.

Agradeço de coração ao meu noivo, Adrian, por estar ao meu lado, acreditar em mim e me auxiliar nos momentos mais difíceis. Seu incentivo, carinho e compreensão são inestimáveis.

Gostaria de estender meu agradecimento à minha irmã, Fernanda, e ao meu cunhado, Jean, por todo o incentivo e admiração que sempre me transmitiram. Sua presença e apoio são de extrema importância em minha vida.

A todos vocês, minha família, bem como à minha irmã e ao meu cunhado, expresso minha profunda gratidão por fazerem parte da minha trajetória e por serem pilares fundamentais no meu caminho rumo aos meus objetivos. Sou verdadeiramente abençoado por tê-los ao meu lado.

Ao meu orientador, o professor Dr. Denis Costa, gostaria de expressar minha sincera gratidão. Agradeço imensamente por todo o conhecimento transmitido, sua dedicação incansável e o esforço dedicado para me auxiliar na concretização deste sonho. Você é uma fonte de inspiração como profissional, e almejo seguir seus passos.

Não posso deixar de mencionar meus professores, que compartilharam seu valioso conhecimento e contribuíram para o meu crescimento acadêmico. Agradeço também à Instituição IFPR por fornecer o ambiente propício para o desenvolvimento do meu curso.

Aos meus amigos e colegas de sala e curso, sou imensamente grato por sua companhia e pela oportunidade de compartilharmos tantas experiências enriquecedoras juntos. Em especial, gostaria de agradecer ao Daniel, Luana, Geraldo, Wily, Maria, Andressa, Juliana, Christiane e ao grupo GAEPE, que me apoiaram e colaboraram nas atividades práticas deste trabalho.

“Aprender é a única coisa de que a mente
nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se
arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma das culturas mais cultivadas em todo o mundo, apresentando um valor agregado significativo devido à sua importância como fonte de proteínas e sua versatilidade em várias áreas, incluindo alimentação humana e animal, bem como na produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais. No Brasil, a soja destaca-se como uma das commodities agrícolas mais valorizadas, conferindo ao país a posição de líder mundial na produção e exportação desse cultivo. Contudo, a produção de soja pode encontrar obstáculos decorrentes de diversos fatores, tais como a escassez de nutrientes essenciais no solo e a presença de patógenos prejudiciais à saúde das plantas. Essas limitações ressaltam a importância do cultivo, uma vez que a cultura possui a capacidade econômica de fixar biologicamente o nitrogênio atmosférico. Entretanto, a eficiência desse processo pode ser comprometida devido à deficiência de micronutrientes, em especial o cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), os quais desempenham um papel crucial na fixação biológica desse elemento vital. A utilização de EM (Efficient Microorganisms), também está sendo amplamente estudada, pois são capazes de melhorar o crescimento das plantas e a qualidade do solo. Nesse contexto, a aplicação de nutrientes específicos, como níquel, cobalto e molibdênio e de microrganismos eficientes tem sido estudada como uma estratégia para aumentar a produtividade e a qualidade da cultura da soja. O experimento foi conduzido no Sítio Vieira, Jardim Alegre – PR. A implantação foi realizada no dia 8 de outubro de 2022, sendo utilizada a cultivar Monsoy 6110 i2x. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), sendo adotado 5 blocos com 8 parcelas experimentais, totalizando 40 parcelas. Os tratamentos foram organizados em arranjo fatorial 4 x 2, sendo: T1 - testemunha; T2 - Ni; T3 - CoMo e T4 - Ni + CoMo (sem a presença de EM) e T5 - EM; T6 - Ni + EM; T7 - CoMo + EM e T8 - Ni + CoMo + EM (com a presença de EM) em 2 estádios de desenvolvimento (V4 e V6). O trabalho consistiu em avaliar produção de matéria seca; índice de clorofila (SPAD); altura de plantas; altura de inserção da primeira vagem; número de vagens por planta; números de sementes por planta; peso de mil sementes; produtividade. Conclui-se que O uso de adubação foliar com níquel (Ni) em V6, com ou sem Co-Mo, incrementa o índice de clorofila (SPAD) nas folhas e a massa de matéria seca (MS) em relação a ausência de fertilizante foliar, entretanto não resultando em aumento nas outras características de crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja. A aplicação única de EM no estádio V4 é insuficiente para causar alterações em características fitotecnia da cultura da soja.

Palavras-chave: (*Glycine max (L.) Merrill*); Fertilizante foliar; Índice de clorofila (SPAD).

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the most cultivated crops in the world, presenting a significant added value due to its importance as a protein source and its versatility in several areas, including human and animal food, as well as in the production of biofuels, plastics and industrial solvents. In Brazil, soy stands out as one of the most valued agricultural commodities, making the country a world leader in the production and export of this crop. However, soybean production can encounter obstacles arising from several factors, such as the shortage of essential nutrients in the soil and the presence of pathogens that are harmful to plant health. These limitations underscore the importance of cultivation, since the crop has the economic capacity to biologically fix atmospheric nitrogen. However, the efficiency of this process can be compromised due to the deficiency of micronutrients, especially cobalt (Co), molybdenum (Mo) and nickel (Ni), which play a crucial role in the biological fixation of this vital element. The use of EM (Efficient Microorganisms) is also being widely studied, as they are capable of improving plant growth and soil quality. In this context, the application of specific nutrients, such as nickel, cobalt and molybdenum, and efficient microorganisms has been studied as a strategy to increase the productivity and quality of the soybean crop. The experiment was conducted at Sítio Vieira, Jardim Alegre – PR. The implantation was carried out on October 8, 2022, using the cultivar Monsoy 6110 i2x. The experimental design used was randomized blocks (DBC), adopting 5 blocks with 8 experimental plots, totaling 40 plots. The treatments were organized in a 4 x 2 factorial arrangement, as follows: T1 - control; T2 - Ni; T3 - CoMo and T4 - Ni + CoMo (without the presence of EM) and T5 - EM; T6 - Ni + MS; T7 - CoMo + EM and T8 - Ni + CoMo + EM (with the presence of EM) in 2 developmental stages (V4 and V6). The work consisted of evaluating dry matter production; chlorophyll index (SPAD); plant height; insertion height of the first pod; number of pods per plant; numbers of seeds per plant; thousand seed weight; productivity. It is concluded that the use of foliar fertilization with nickel (Ni) in V6, with or without Co-Mo, increases the chlorophyll index (SPAD) in the leaves and the dry matter mass (DM) in relation to the absence of foliar fertilizer, however not resulting in an increase in other traits of soybean growth, development and productivity. The single application of EM at the V4 stage is insufficient to cause changes in phytotechnical characteristics of the soybean crop.

Keywords: (*Glycine max* (L.) Merrill); foliar fertilizer; Index Spad.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química e física das amostras de solo no talhão do experimento localizado no município de Jardim Alegre - Paraná.....	13
Tabela 2 – Tratamentos estabelecidos para testar a eficiência da adubação foliar com Molibdênio, Cobalto e Níquel associados ou não a EM na cultura da soja.....	14
Tabela 3 – Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja.....	21
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as características de índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALTPL), altura de primeira vagem (ALTVAG), produção de matéria seca (MS), número de vagens (NVP), número de sementes (NSV), peso de mil sementes (PMS), produtividade (PROD).....	30
Tabela 5 – Crescimento e desenvolvimento para as características de índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALTPL), altura de primeira vagem (ALTVAG), produção de matéria seca (MS).....	31
Tabela 6 – Parâmetros de produtividade para as características de número de vagens (NVP), número de sementes por planta (NSP), peso de mil sementes (PMS), produtividade (PROD).....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	11
1.2 HIPÓTESE.....	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo geral.....	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
2. DESENVOLVIMENTO	12
2.1 METODOLOGIA	12
2.1.1 Caracterização da área experimental.....	12
2.1.2 Implantação da lavoura e tratos culturais	13
2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos	14
2.4 PARÂMETROS AVALIADOS	16
2.4.1 Índice de clorofila (SPAD).....	16
2.4.2 Massa de matéria seca.....	16
2.4.3 Altura de plantas.....	17
2.4.4 Número de vagens (NVP) e sementes (NSP) por planta.....	17
2.4.5 Peso de mil sementes (PMS).....	17
2.4.6 Produtividade (PROD)	18
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.6 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA.....	18
3.1 MORFOLOGIA	19
3.1.1 Estádios de desenvolvimento	20
3.2 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES (FBN).....	22
3.2 MICRONUTRIENTES E ELEMENTOS BENÉFICOS NA SOJA	23
3.2.1 Molibdênio	24
3.2.2 Cobalto	25
3.2.3 Níquel.....	26
3.3 MICRORGANISMOS EFICIENTES	27
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais cultivadas em todo o mundo, apresentando um valor agregado significativo devido à sua importância como fonte de proteínas e sua versatilidade em várias áreas, incluindo alimentação humana e animal, bem como na produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais. No mercado brasileiro, a soja é considerada uma das commodities agrícolas mais valorizadas, fazendo com que o Brasil seja o principal produtor e exportador de soja do mundo (EMBRAPA, 2021). Nas últimas décadas, o cultivo de soja experimentou um crescimento expressivo, o que contribuiu significativamente para o seu valor econômico tanto no mercado interno quanto no externo, impulsionado pela cadeia produtiva do agronegócio (HIRAKURI & LAZZAROTTO, 2014).

De acordo com a CONAB (2021), a safra de soja 2020/2021 alcançou níveis recordes de produção, estimada em 135,9 milhões de toneladas, representando um aumento de 8,9% em relação à safra anterior (2019/2020). Na safra 2021/2022, apesar da queda na produção devido a adversidades climáticas, o Brasil ainda conseguiu produzir aproximadamente 123,8 milhões de toneladas, em uma área plantada de 40,1 milhões de hectares (CONAB, 2022).

A adubação desempenha um papel crucial na determinação da produtividade, representando uma parcela significativa dos custos de produção da cultura, conforme apontado por Dourado-Neto *et al.* (2012). Isso torna o cultivo mais viável economicamente, devido à capacidade da cultura de fixar biologicamente o nitrogênio. No entanto, a eficiência desse processo pode ser prejudicada pela deficiência de nutrientes, em especial o cobalto (Co) e o molibdênio (Mo). Estudos conduzidos por Brandelero, Peixoto e Ralisch (2009) indicam que mais de 40% do rendimento dos grãos está relacionado aos componentes da nodulação dos cultivares de soja.

O cobalto desempenha um papel extremamente importante no processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Sua relevância está diretamente ligada ao fato de ser um componente essencial da coenzima cobalamina, também conhecida como vitamina B12, a qual desempenha um papel crucial na síntese da leghemoglobina. Essa substância é responsável por regular a atividade dos nódulos de fixação de nitrogênio, tornando o cobalto

indispensável para o processo biológico (SOMASEGARAN & HOBEN, 1994; MENGEL & KIRKBY, 2001).

O molibdênio (Mo) também desempenha um papel essencial no crescimento das plantas, mesmo em quantidades menores, no qual também é fundamental para a fixação biológica do nitrogênio, atuando como cofator das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato. É importante destacar que o nutriente apresenta mobilidade moderada no floema, permitindo sua distribuição por toda a planta (SFREDO & OLIVEIRA, 2010).

Estudos em nutrição de plantas, como o realizado por Dourado-Neto (2012), evidenciaram que a aplicação foliar de cobalto e molibdênio pode gerar aumentos significativos na produtividade da soja. Mais especificamente, a aplicação via foliar de cobalto e molibdênio no estágio V4 resultou em aumentos de até 240 kg ha⁻¹ na produção de grãos da soja. Esses resultados indicam a eficácia dessa abordagem como uma estratégia promissora para otimizar o rendimento da cultura da soja.

Outro micronutriente que desempenha um papel fundamental como cofator da enzima urease, especialmente nas leguminosas, é o níquel (Ni). A presença do Níquel é indispensável como cofator dessa enzima sendo essencial para sua atividade, conforme destacado por Marschner (1995). Embora haja poucos estudos sobre o efeito das doses de níquel na produtividade da cultura da soja, uma pesquisa conduzida por Alovisi (2011), revelou resultados significativos. Ao aplicar 132 g ha⁻¹ de níquel via foliar, constatou-se um aumento expressivo no teor de Ni nas folhas, quadruplicando de 0,1 para 8,3 mg.kg⁻¹. Esses resultados indicam que a deficiência de níquel pode ser corrigida efetivamente por meio da suplementação foliar.

Nos últimos anos, tem sido observado um aumento significativo no interesse por práticas agrícolas ecológicas e sustentáveis. Uma dessas práticas importantes é a utilização de EM (Efficient Microorganisms), que consiste em uma mistura de microrganismos benéficos capazes de melhorar o crescimento das plantas e a qualidade do solo. A adoção de biofertilizantes e biopesticidas contendo microrganismos eficientes tem mostrado resultados promissores, superando fertilizantes sintéticos, inseticidas e pesticidas em termos de melhorias no crescimento das plantas. Essas práticas contribuem para a sustentabilidade ambiental e a produtividade das culturas (GLICK *et al.* 1995).

1.1 PROBLEMA

Em geral os produtores não possuem o hábito de realizar aplicação de microrganismo eficientes com nutrição mineral via foliar com Ni, Co e Mo. Isso pode ocasionar menores rendimentos na produtividade da cultura.

1.2 HIPÓTESE

Considerando o exposto na introdução, lançou-se a hipótese de que a combinação de aplicação de microrganismos eficientes com nutrição mineral via foliar com Ni, Co e Mo altera o crescimento e desenvolvimento da planta de soja afetando significativamente a produtividade da cultura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Verificar os efeitos da aplicação dos nutrientes minerais Ni, Co e Mo associados ou não com a aplicação de microrganismos eficientes (EM) sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja.

1.3.2 Objetivos específicos

Avaliar características fitotecniais do crescimento e desenvolvimento de plantas de soja como altura de planta, altura de inserção de primeira vagem, índice SPAD e massa de matéria seca;

Quantificar características fitotecniais da produção e produtividade como número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de mil sementes e produtividade.

1. DESENVOLVIMENTO

1.1 METODOLOGIA

2.1.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em campo conduzido na safra 2022/23 no Sítio Vieira, localizado no município de Jardim Alegre - Paraná, com localização geográfica entre os paralelos 24° 11' 29.99" S e os meridianos 51° 38' 29.24" O de Greenwich, com altitude de 652 m. O solo na área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico (BHERING e SANTOS, 2008) e o clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é predominantemente Cfa (clima úmido temperado com verões quentes) (ALVARES et.al. 2014). Adicionalmente, de acordo com o IAT, (2023) a média de precipitação nos últimos 5 anos (2018-2022) foi de 1385,08 mm e durante o período do ensaio (outubro/22 a março/2023) de 622,3 mm.

O experimento foi conduzido em área cultivada em sistema de plantio direto, a qual havia sido utilizada nos últimos 6 anos consecutivos para o cultivo de soja durante o verão e milho durante o inverno. Na Tabela 1 estão apresentados os dados da análise química e física do solo referente a camada de 0 - 20 cm.

Tabela 1. Caracterização química e física das amostras de solo no talhão do experimento localizado no município de Jardim Alegre – Paraná

Características físicas						
Argila (%)			Silte (%)			Areia (%)
57			17			26
Características químicas						
P – Mehlich 1 (mg.dm ⁻³)	K (mg.dm ⁻³)	Ca (cmolc.dm ⁻³)	Mg (cmolc.dm ⁻³)	S (mg.dm ⁻³)	Al (cmolc.dm ⁻³)	CTC pH 7 (cmolc.dm ⁻³)
7,92	0,59	8,70	2,55	5,14	0,11	33,83
MO (%)	pH (CaCl ₂)	Saturação de K (%)	Saturação de Ca (%)	Saturação de Mg (%)	m (%)	V (%)
4,7	5,02	22,26	39,5	15,93	0,25	68,39

P, K e micros: Extrator de Mehlich 1:10; Ca, Mg e Al: Extrator KCl; P res: Extrator resina. H + Al = acidez potencial; SB = soma de bases; t = capacidade efetiva de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; MO = matéria orgânica;

1.1.2 Implantação da lavoura e tratos culturais

A cultivar escolhida foi a Monsoy 6110 i2x, uma variedade com tratamento composto por clorantraniliprole (62,5%), fipronil (25%), tiofanato metílico (35%), fluazinam (5,25%), molibdênio (0,001%), zinco (0,001%), polímero e pó secante. Essa variedade apresenta ciclo precoce ajustado para o Paraná, com maturidade relativa 6.1, além de excelente sanidade foliar para mancha alvo e um potencial produtivo muito promissor.

A semeadura foi realizada no dia 08 de outubro de 2022, com o espaçamento de 10 sementes/metro linear com uma semeadora da marca Plant Center, modelo terraçus de dez linhas espaçadas a 0,45m, equipada com disco de corte de palhada, haste de sulcamento para distribuição do adubo, disco duplo para distribuição da semente, sistema de distribuição de sementes a disco com sensor de monitoramento de sementes, rodas para controle de profundidade da semente e leve compactador do solo para retirada de possíveis bolsões de ar. As sementes foram posicionadas a uma profundidade de três centímetros.

Os tratos culturais foram conduzidos levando em consideração as necessidades específicas da cultura e as demandas do produtor. Durante toda a safra, foram realizadas um

total de 4 aplicações para garantir um manejo adequado. Na primeira aplicação, foram utilizados herbicidas para o controle de plantas daninhas, incluindo adjuvante, glifosato, ácido ariloxifenoxipropiônico, clorimurrom-etílico e óleo mineral. Na segunda aplicação, optou-se pelo uso do fungicida estrobilurina e triazolintiona, em conjunto com adjuvante para o controle de *Phakopsora pachyrhizi*, fertilizante foliar concorde® e óleo mineral. Para a terceira aplicação, foram aplicados os fungicidas estrobilurina, carboxamida e triazol, além do adjuvante. Também foram utilizados o acaricida abamectina, o inseticida imidacloprido e bifentrina para o controle de percevejo, o Fort NPK® para o enchimento dos grãos e, Co-Mo Platinum® e óleo mineral. Na última aplicação, foram empregados adjuvante, fungicida triazol, carboxamida, estrobilurina, inseticida tiametoxam, lambda-cialotrina, fertilizante foliar K-fol® e óleo mineral. Isto tudo de acordo com as recomendações do Engenheiro Agrônomo da propriedade.

1.1.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC) sendo adotado 5 blocos com 8 parcelas totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos foram organizados em arranjo fatorial 4 x 2, sendo 4 níveis de fertilizantes foliares e 2 níveis de aplicação de microrganismos eficientes, totalizando 8 tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos estabelecidos para testar a eficiência da adubação foliar com Molibdênio, Cobalto e Níquel associados ou não a EM na cultura da soja.

Tratamentos	Fonte	Nutrientes		
		Ni ²	Co+Mo ²	EM ¹
Dose/ha				
1	Testemunha	0	0	0
2	Sulfato de níquel	55 g	0	0
3	CoMo	0	7 g + 70 g	0
4	Ni + CoMo	55g	300mL	0
5	EM	0	0	200mL
6	Ni + EM	250g	0	200mL
7	CoMo + EM	0	300mL	200mL
8	Ni + CoMo + EM	250g	300mL	200mL

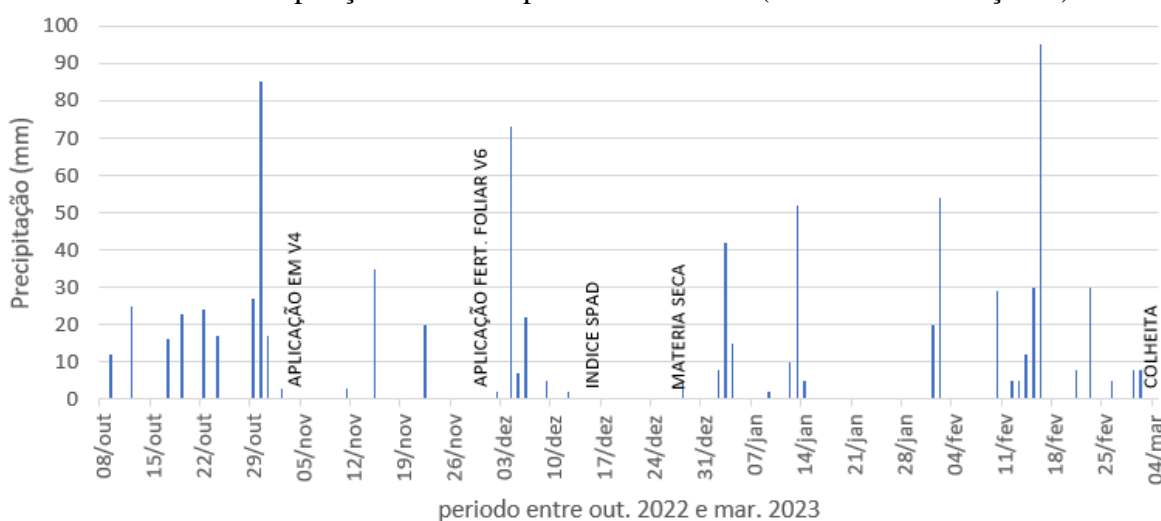
¹ Microrganismos eficazes aplicados em V4; ² Nutrientes aplicados em V6

O EM foi obtido no mês de junho de 2022 por meio do uso de armadilha de arroz cozido em área de mata próximo ao Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã. Após a coleta dos microrganismos, eles foram multiplicados em meio anaeróbico contendo sacarose como fonte de energia e fosfato natural reativo com indutor de seleção para fósforo. A fonte de níquel utilizada foi o sulfato de níquel hexahidratado (22% de Ni) e a de Co-Mo o produto comercial Co-Mo Platinum que tinha garantias de (2,0% de P_2O_5 , 1,5 % de Cobalto e 15% de molibdênio, densidade do produto 1,57g/ml).

A primeira aplicação ocorreu no dia 4 de novembro de 2022 no estádio V4, utilizando o EM. Já a segunda aplicação foi realizada no dia 30 de novembro de 2022, no estádio fenológico V6, envolvendo os nutrientes Ni, Co e Mo. Ambas as aplicações foram realizadas no final da tarde, quando a temperatura estava amena e não havia presença de vento, a fim de evitar a deriva. Utilizou-se uma bomba costal de 20 litros com um bico modelo cone para as aplicações. A vazão utilizada foi de 200 litros de calda por hectare, com a altura de aplicação fixada em 0,5 metros e uma velocidade de aplicação de um metro por segundo. Para a preparação da calda, utilizou-se uma balança digital para medir os sólidos e uma proveta para os líquidos, garantindo a quantidade adequada de água para atingir a graduação mínima e a dosagem ideal do produto por hectare.

Durante o ensaio, a coleta dos dados de precipitação foi realizada por meio de um pluviômetro modelo 150mm em cunha, localizado em uma propriedade adjacente. Devido à proximidade entre as propriedades (distância de apenas 2 km) e estando ambas situadas na mesma cidade, optou-se por utilizar os dados de precipitação coletados (Gráfico 1).

Gráfico 1. Precipitação durante o período do ensaio (outubro/22 a março/23).



Fonte: Os autores

2.4 PARÂMETROS AVALIADOS

Os parâmetros avaliados neste estudo foram, índice SPAD, massa de matéria seca, altura de plantas, altura de primeira vagem, número de vagens, número de sementes, massa de 1000 sementes (PMS), grau de umidade das sementes e produtividade corrigida na base úmida de 13%.

2.4.1 Índice de clorofila (SPAD)

A primeira avaliação foi realizada 15 dias após a aplicação dos micronutrientes, utilizando o aparelho Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus (figura 1). Para essa avaliação, foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas dentro da área útil da parcela. O terceiro trifólio, do ápice para a base da planta, foi utilizado, levando em consideração sempre o folíolo central. Os resultados obtidos foram expressos conforme índice fornecido pelo equipamento.

Figura 1. Avaliação do índice de clorofila (SPAD).



Fonte: Forner (2023)

2.4.2 Massa de matéria seca

A segunda avaliação consistiu na medição da massa de matéria seca. Para isso, foram coletadas aleatoriamente 10 plantas no estágio R3 (vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida), que marca o início da formação da vagem. Essas plantas foram cortadas rente ao solo com uma tesoura de poda (Figura 2A), na área útil da parcela e armazenadas em sacos de papel kraft (Figura 2B). Em seguida, foram colocadas em um galpão coberto e arejado para secagem completa (Figura 2C). Após a secagem (Figura 2D), as plantas foram submetidas a uma estufa de secagem

forçada a uma temperatura de 60°C por 24 horas, garantindo a total evaporação da umidade. Após esse processo, as plantas foram pesadas em uma balança digital (Figura 2E), até atingirem uma massa constante. Os resultados foram expressos em $g/planta^{-1}$.

Figura 2. Avaliação da matéria seca de soja, cultivar 6110 i2x, submetidas a aplicação foliar de níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo), associados ou não a aplicação de microrganismos eficientes na cultura da soja.



Fonte: Os autores (2023)

2.4.3 Altura de plantas

Aos 144 dias de cultivo (4 de março de 2023) foram cortadas na base rente ao solo (região do coletor) com uma tesoura de poda 10 plantas ao acaso na área útil da parcela. Para a altura de plantas, com o auxílio de uma régua graduada em mm a medição foi realizada da região do corte até o último nó do ramo principal da planta de soja. Para altura de inserção da 1ª vagem o procedimento foi realizado nas mesmas plantas, todavia mensurada até o ponto de conexão entre o fruto (vagem) e o pedúnculo. Os resultados foram expressos em centímetros.

2.4.4 Número de vagens (NVP) e sementes (NSP) por planta

A determinação do número de vagens foi realizada através da contagem das 10 plantas colhidas aleatoriamente dentro da área útil da parcela, contabilizando todas as vagens presentes em cada planta. Da mesma forma, a determinação do número de sementes foi obtida contando os grãos presentes nas vagens dessas mesmas 10 plantas.

2.4.5 Peso de mil sementes (PMS)

Para determinar o peso de 1000 sementes (PMS), foram adotadas 8 repetições, com 100 sementes em cada tratamento. As sementes de cada parcela foram contadas manualmente

e submetidas pesagem em balança analítica da marca Bioscale modelo TMMMFA-2204-BA. Paralelamente, a umidade dos grãos foi medida utilizando-se um medidor portátil da marca GEHAKA modelo G300 devidamente calibrado para grãos de soja. Um volume de cada tratamento foi inserido no aparelho, e foram realizadas três medições para obter uma média de umidade. Os dados de peso de mil sementes foram expressos em g com umidade corrigida para 13% em todos os tratamentos.

2.4.6 Produtividade (PROD)

A avaliação da produtividade envolveu a colheita de todas as plantas presentes na área útil da parcela de 3m². Após a colheita, as plantas foram armazenadas em sacos identificados, seguidas do processo de debulha dos grãos, que foram posteriormente pesados em uma balança digital da marca Marte modelo MS30K. Por fim, o resultado obtido foi multiplicado pela área da parcela útil e expresso em kg/ha⁻¹.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos a verificação dos pressupostos do modelo matemático e testados conforme os testes de normalidade (Teste Shapiro-Wilk), homoscedasticidade (Teste de Bartlett) e independência dos erros (Teste de Durbin-Watson). A análise de variância foi realizada para aplicação do teste F e quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey (5%) para comparação das médias do esquema fatorial. O software utilizado foi o RStudio.

3. REVISÃO DE LITERATURA

2.6 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais cultivadas em todo o mundo, apresentando um valor agregado significativo devido à sua importância como fonte de proteínas e sua versatilidade em várias áreas, incluindo alimentação humana e animal, bem como na produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais. No mercado brasileiro, a soja é considerada uma das commodities agrícolas mais essenciais, sendo

altamente valorizada, fazendo com que o Brasil seja o principal produtor e exportador de soja do mundo (EMBRAPA, 2021).

De acordo com dados da FAO, a produção mundial oficial de soja em 2021 foi de 355.370.766,69 toneladas. No entanto, estimativas indicam que a produção mundial possa ter alcançado 371.693.592,66 toneladas. Já na safra brasileira 21/22, a produção de soja foi de 125,55 milhões de toneladas, com uma área plantada de 41.452 mil hectares e uma produtividade média de 3.029 kg/ha⁻¹. De acordo com a CONAB (2021), a safra de soja 2020/2021 alcançou níveis recordes de produção, estimada em 135,9 milhões de toneladas, representando um aumento de 8,9% em relação à safra anterior (2019/2020). Na safra 2021/2022, apesar da queda na produção devido a adversidades climáticas, o Brasil ainda conseguiu produzir aproximadamente 123,8 milhões de toneladas, em uma área plantada de 40,1 milhões de hectares (CONAB, 2022). Esses números confirmam a importância da soja como o principal grão produzido no país, conforme relatado pela CONAB (2022).

3.1 MORFOLOGIA

A soja, uma planta anual pertencente à família das leguminosas e subfamília Fabaceae, apresenta um porte ereto, sendo uma herbácea de reprodução autógama. Sua altura pode variar de 30 a 100 cm, o que influencia a quantidade de ramificações e outros aspectos do seu desenvolvimento (MÜLLER, 1981).

No que diz respeito ao sistema radicular, a soja possui uma raiz axial principal e raízes secundárias. Estas últimas estabelecem interações simbióticas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico e sua disponibilização à planta na forma assimilável de nitrato, enquanto a planta fornece carboidratos em troca (NOGUEIRA *et al.* 2009).

O caule da soja é caracterizado como herbáceo, ereto, pubescente e ramificado, e seu desenvolvimento ocorre a partir do eixo embrionário logo após a germinação. O crescimento do caule é ortotrópico e existem três tipos de crescimento entre os cultivares: determinado, semi determinado e indeterminado. Além disso, os ramos laterais podem ter diferentes posicionamentos e inclinações, classificados como eretos ou semi-eretos.

Segundo Lersten e Carlson (2005), as folhas da planta de soja podem ser classificadas em quatro tipos distintos: cotiledonares, unifolioladas, trifolioladas e prófilos. As folhas cotiledonares são responsáveis por armazenar reservas para o desenvolvimento inicial da plântula. As folhas unifolioladas estão localizadas acima do nó cotiledonar, enquanto as

trifolioladas são encontradas no caule principal e nas ramificações. Já os prófilos estão localizados na base das ramificações (SEDIYAMA, 2015).

No que diz respeito às flores da soja, elas possuem uma estrutura completa e surgem em ramos terminais ou axilares. A coloração das flores varia de branco a púrpura, dependendo do cultivar (VERNETTI & JUNIOR, 2009). A floração ocorre em resposta a estímulos luminosos e nesse processo ocorre o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos masculinos e femininos, protegidos pelo cálice e pela corola (NOGUEIRA *et al.* 2009).

Segundo Müllher (1981), o fruto da soja é uma vagem tipo legume que pode variar em tamanho e forma, dependendo do cultivar e das condições climáticas. Quando maduro, geralmente mede de 2 a 7 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura, apresentando um formato achatado. Ainda de acordo com esse autor as sementes de soja exibem uma ampla variação em sua forma, cor e tamanho, podendo ser arredondadas, achatadas ou alongadas. Além disso, a cor dos grãos pode variar entre amarelo, preto ou verde, enquanto o hilo normalmente possui tonalidades de marrom, preto ou cinza. A produtividade de sementes pode chegar a até 400 grãos por planta, sendo que as vagens costumam conter de 1 a 5 grãos. No entanto, a maioria das cultivares apresenta em média 2 a 3 sementes por vagem.

De acordo com a Embrapa Soja, após as proteínas (aproximadamente 40%), os carboidratos ocupam a segunda posição como componente mais abundante na soja, correspondendo a aproximadamente 30 a 35% do total de componentes presentes no grão. Dentre os carboidratos solúveis encontrados na soja, a sacarose representa cerca de 60%, enquanto os oligossacarídeos estaquiose e rafinose representam aproximadamente 36% e 4%, respectivamente. Além desses carboidratos solúveis, a soja também possui carboidratos insolúveis, que incluem a celulose, a hemicelulose, a lignina e traços de amido. Esses componentes são encontrados principalmente na parede celular e são chamados de fibras insolúveis.

3.1.1 Estádios de desenvolvimento

Os estádios de desenvolvimento desempenham um papel crucial na caracterização e organização do sistema de produção da soja. Esses estágios são divididos em duas fases distintas: a fase vegetativa, indicada pela letra "V", e a fase reprodutiva, indicada pela letra "R". A duração de cada estágio é influenciada por fatores ambientais e pelo progresso genético das plantas. A classificação das plantas é baseada na observação das características

das folhas, flores, desenvolvimento das vagens e grãos, conforme apresentado de forma detalhada na Tabela 3 descrita por Farias *et al.* (2020).

Tabela 3 - Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja.

Estádios Fenológicos	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Emergência da plântula, cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Cotilédones completamente abertos e folhas unifolioladas estendidas, de modo que as bordas não se tocam
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
Vn	Enésimo nó	Ante enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó do caule principal
R2	Floração plena	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvidas
R3	Início na formação de vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida

R5	Início do enchimento dos grãos	do	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grãos completamente desenvolvidos		Vagem com grãos verdes preenchendo a cavidade das vagens de um dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvidas
R7	Início da maturação	da	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena		Maturação dos grãos com 95% das vagens com coloração madura

Fonte: Farias, *et al.* (2020)

O reconhecimento preciso dos estádios fenológicos da soja, conforme destacado por Farias, *et al.* (2020), desempenha um papel crucial no manejo adequado das plantas. Essa identificação permite um planejamento eficiente das atividades agrícolas, como semeadura, adubação, controle de pragas e doenças, irrigação e colheita, entre outras. Além disso, a correta identificação dos estádios fenológicos é fundamental para interpretar os resultados de experimentos científicos e comparar diferentes cultivares. Dessa forma, o conhecimento dos estádios fenológicos é imprescindível para alcançar o sucesso na produção de soja.

3.2 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES (FBN)

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo essencial realizado por grupos de microrganismos que desempenham a função crucial da enzima nitrogenase. Essa enzima tem a capacidade de converter o nitrogênio atmosférico em uma forma que pode ser utilizada pelas plantas como fonte nutricional. O processo de FBN desempenha um papel fundamental na incorporação de nitrogênio na biosfera, sendo considerado, após a fotossíntese, o processo biológico mais importante para as plantas e essencial para a vida na Terra. Ele fornece às plantas uma fonte de nitrogênio vital, que é essencial para seu crescimento e desenvolvimento saudáveis (EMBRAPA, 2013).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) desempenha um papel fundamental no ciclo do nitrogênio, sendo responsável por aproximadamente 64% do nitrogênio fixado globalmente. A FBN é conduzida exclusivamente pelo complexo catalítico da enzima nitrogenase. Essa reação anaeróbica ocorre quando o N_2 é ligado ao complexo enzimático,

que, por meio de proteínas metálicas, promove a redução do nitrogênio gasoso, resultando na hidrólise de sua tripla ligação e na conversão em amônia (NH_3). Posteriormente, outros microrganismos presentes no solo convertem a amônia em formas assimiláveis pelas plantas, como amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). Esse processo viabiliza o fornecimento de nitrogênio essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (PATIL *et al.* 2017).

Na cultura da soja, as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* estabelecem uma simbiose com o sistema radicular da planta, formando uma parceria que resulta na fixação biológica de nitrogênio (FBN). Essa relação simbiótica ocorre por meio da formação de nódulos especializados nas raízes, onde as bactérias fornecem uma parte significativa do nitrogênio necessário para o crescimento e a produtividade das plantas (LOPES *et al.* 2016).

No entanto, a eficiência desse processo de FBN e o metabolismo associado podem ser prejudicados pela deficiência de cobalto (Co) e molibdênio (Mo). O cobalto é essencial para os microrganismos fixadores de nitrogênio, enquanto o molibdênio desempenha um papel crucial nas enzimas redutase do nitrato e nitrogenase. Portanto, recomenda-se a aplicação de quantidades adequadas desses nutrientes, como 12 a 25 g/ha^{-1} de molibdênio e 2 a 3 g/ha^{-1} de cobalto, por meio de tratamento de sementes ou aplicação foliar, a fim de suprir a demanda da cultura (ALBINO & CAMPO, 2001; OLIVEIRA JUNIOR *et al.* 2010). Essa prática visa garantir um processo de FBN eficiente e contribuir para o crescimento saudável e produtivo das plantas de soja.

3.2 MICRONUTRIENTES E ELEMENTOS BENÉFICOS NA SOJA

Os micronutrientes são elementos minerais essenciais para o pleno desenvolvimento das plantas, sendo eles Níquel (Ni), Molibdênio (Mo), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Boro (B) e Cloro (Cl). Embora as culturas necessitem apenas de pequenas quantidades desses elementos, sua presença é fundamental para garantir um ciclo de crescimento eficiente. A produção agrícola depende de vários fatores, incluindo a disponibilidade equilibrada de nutrientes no solo. Os micronutrientes essenciais, como boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cobalto (Co) e zinco (Zn), são absorvidos em quantidades menores pelas plantas em comparação aos macronutrientes. No entanto, quando os níveis desses micronutrientes no solo são insuficientes para atender à demanda das plantas, ocorre uma redução drástica na atividade fisiológica vegetal, o que resulta em um impacto direto na produtividade da cultura (HANSEL & OLIVEIRA, 2016).

Os elementos benéficos para as plantas são nutrientes que, apesar de não serem considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, podem trazer benefícios para a saúde e produtividade das plantas. Conforme Fageria *et al.* (2010), estes elementos são conhecidos como micronutrientes benéficos e incluem o silício, sódio, cobalto, níquel e vanádio. Além disso, alguns elementos que são considerados tóxicos em altas concentrações, como o manganês, podem ter efeitos benéficos em níveis adequados. O conhecimento desses elementos é importante para o manejo adequado dos solos e a maximização da produção agrícola (FAGERIA *et al.*, 2010)

Os micronutrientes possuem grande importância para a cultura da soja, especialmente o molibdênio e cobalto, pois estão relacionados a associação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que são essenciais para a fixação biológica do nitrogênio (BÁRBARO *et al.* 2015).

3.2.1 Molibdênio

O molibdênio (Mo) desempenha um papel essencial no crescimento das plantas, mesmo em quantidades menores, e sua deficiência pode ser tão prejudicial quanto a falta de outros nutrientes essenciais. O Mo é fundamental para a fixação biológica do nitrogênio, atuando como cofator nas enzimas nitrogenase e redutase do nitrato, além de participar do transporte de elétrons em reações bioquímicas. É importante ressaltar que a soja absorve mais de 58% do Mo necessário nos primeiros 45 dias de crescimento, e o nutriente apresenta mobilidade moderada no floema, permitindo sua distribuição por toda a planta (SFREDO & OLIVEIRA, 2010).

A disponibilidade do micronutriente é fortemente influenciada pela acidez do solo. Por ser um íon aniônico, o comportamento do molibdênio difere dos outros micronutrientes essenciais para a fixação biológica do nitrogênio. Com o aumento do pH, a disponibilidade de molibdênio também aumenta, o que significa que solos corrigidos tendem a apresentar teores adequados desse nutriente (NOVAIS *et al.* 2007). A textura do solo também desempenha um papel relevante, sendo que solos arenosos são mais propensos a deficiências de Mo em comparação com solos de textura média a argilosa (NOVAIS *et al.* 2007). Além disso, o molibdênio pode ser facilmente perdido do solo por lixiviação e pode ser extraído pelas plantas, resultando em níveis insuficientes no solo para suprir as necessidades das culturas. Portanto, a adubação suplementar pode ser necessária (HANSEL & OLIVEIRA, 2016).

A deficiência de molibdênio pode acarretar prejuízos significativos na produção de ácido ascórbico, na concentração de clorofila e na atividade respiratória das plantas. Além disso, a ausência desse micronutriente pode resultar em um acúmulo anormal de NO^{3-} nas folhas, interferindo diretamente no metabolismo do nitrogênio e comprometendo a viabilidade dos grãos de pólen, o que tem um impacto direto na produção da cultura (TORQUATO, 2009).

O molibdênio desempenha um papel crucial como um dos catalisadores essenciais da enzima nitrogenase, responsável pela transformação do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3). Além disso, ele desempenha uma função importante como componente da enzima redutase de nitrato, que catalisa a conversão de nitrato (NO^{3-}) em nitrito (NO^{2-}). Essas funções enzimáticas são fundamentais para o metabolismo eficiente do nitrogênio nas plantas (LANTMANN, 2002; MENGEL; KIRKBY, 2001).

Um estudo conduzido por Barbosa *et al.* (2010) investigou os efeitos da aplicação foliar de molibdênio em diferentes doses na produtividade e qualidade das sementes de soja. Os resultados obtidos demonstraram um impacto significativo dessa aplicação no aumento da produtividade dos grãos de soja, bem como no número de vagens por planta. Além disso, observou-se um aumento no peso de 100 sementes quando foram aplicados 150 g/ha⁻¹⁴ de Mo. A aplicação foliar de molibdênio também teve um efeito positivo na qualidade das sementes, com melhorias observadas na germinação e no vigor. Esses resultados indicam que a estratégia de aplicação foliar de molibdênio pode ser eficaz para aumentar tanto a produtividade quanto a qualidade das sementes de soja.

3.2.2 Cobalto

O cobalto desempenha um papel de extrema importância no processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Sua relevância está diretamente ligada ao fato de ser um componente essencial da coenzima cobalamida, também conhecida como vitamina B12, que desempenha um papel crucial na síntese da leghemoglobina. Essa substância é responsável por regular a atividade dos nódulos de fixação de nitrogênio, tornando o cobalto indispensável para o processo biológico (SOMASEGARAN & HOBEN, 1994; MENGEL & KIRKBY, 2001).

A deficiência de cobalto pode resultar em deficiência de nitrogênio na cultura da soja, devido à redução na fixação do nitrogênio atmosférico. Os sintomas dessa deficiência incluem

clorose total, seguida de necrose nas folhas mais antigas, devido à carência de nitrogênio (EMBRAPA, 2010).

No solo, a interação do cobalto com suas características químicas e físicas, bem como as condições ambientais, desempenha um papel crucial. O cobalto apresenta uma forte afinidade pela matéria orgânica e pelos óxidos de ferro e manganês presentes no solo, sendo amplamente adsorvido em solos com pH baixo e altos teores desses componentes. Além disso, a solubilidade do cobalto é influenciada pelo conteúdo de sais, acidez e potencial redox do solo. Em solos alcalinos, pode ocorrer a precipitação de carbonatos de cobalto, o que reduz sua disponibilidade para as plantas (SILVA *et al.* 2013).

3.2.3 Níquel

O níquel (Ni) é um elemento que foi recentemente incluído na lista de nutrientes essenciais para as plantas. Embora tenha sido descoberto como componente crucial da enzima urease em 1975, somente em 1987 foi oficialmente reconhecido como um nutriente necessário para o desenvolvimento saudável das plantas (BROWN *et al.* 1987). Esse reconhecimento ocorreu devido a um experimento conduzido por Brown *et al.* (1987) no qual plantas de cevada foram cultivadas por três gerações em um meio nutritivo sem a presença de níquel. Nesse experimento, observou-se que as sementes produzidas apresentavam concentrações muito baixas desse micronutriente. Além disso, constatou-se que a porcentagem de germinação dessas sementes diminuía de forma linear à medida que as concentrações de níquel ficavam abaixo do nível crítico de $100 \mu\text{g kg}^{-1}$. Esses resultados evidenciam a importância crucial do níquel para a viabilidade e o desenvolvimento adequado das plantas de cevada.

O nutriente Ni desempenha um papel fundamental como cofator da enzima urease, especialmente nas leguminosas, como a soja. Nas plantas de soja, a principal forma de transferência de nitrogênio do nódulo bacteriano para as raízes é por meio dos ureídeos. Durante o processo de assimilação de nitrogênio, os ureídeos são degradados, gerando uréia como composto intermediário. A degradação final da uréia é catalisada pela enzima urease, que requer obrigatoriamente a presença de Ni como cofator, ou seja, um composto químico essencial para sua atividade (MARSCHNER, 1995).

Embora poucos estudos tenham investigado o efeito das doses de Ni na produtividade da cultura da soja, uma pesquisa conduzida por Alovisei, 2011 revelou resultados significativos. Ao fornecer 132 g/ha^{-1} de níquel via aplicação foliar, constatou-se

que o teor de Ni nas folhas quadruplicou, passando de 0,1 para 8,3 mg.kg⁻¹. Esses resultados indicam que a correção de deficiência de níquel pode ser alcançada por meio de suplementação foliar. A aplicação de 132 g/ha⁻¹ de Ni resultou em um aumento expressivo no teor de níquel nas plantas de soja.

3.3 MICRORGANISMOS EFICIENTES

Por muitos anos, os microbiologistas do solo e os ecologistas microbianos classificaram os microrganismos do solo como "benéficos" ou "prejudiciais" com base em seu impacto na qualidade do solo, no crescimento das culturas e no rendimento. Os microrganismos benéficos são aqueles que realizam a fixação de nitrogênio atmosférico, decompõem resíduos orgânicos, desintoxicam pesticidas, suprimem doenças de plantas e patógenos do solo, promovem o ciclo de nutrientes e produzem compostos bioativos, como vitaminas, hormônios e enzimas, que estimulam o crescimento das plantas (SINGH, *et al.* 2011).

Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse em práticas agrícolas ecológicas e sustentáveis. O uso de biofertilizantes e biopesticidas contendo microrganismos eficientes têm demonstrado melhorias significativas no crescimento das plantas em comparação com fertilizantes sintéticos, inseticidas e pesticidas. Essas práticas contribuem para a sustentabilidade ambiental e a produtividade das culturas. Os solos rizosféricos, ou seja, a região do solo em torno das raízes, abrigam diversos tipos de microrganismos eficientes que exercem efeitos benéficos na produtividade das culturas. As rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) e as cianobactérias são exemplos de microrganismos presentes na rizosfera que produzem substâncias bioativas para promover o crescimento vegetal e protegê-las contra patógenos (GLICK *et al.* 1995).

Segundo o Bonfim *et al.* (2020), os microrganismos regenerativos são responsáveis por produzir substâncias orgânicas benéficas para as plantas, incluindo hormônios e vitaminas, além de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O EM, por sua vez, é composto por uma comunidade de microrganismos presentes naturalmente no solo, incluindo aqueles classificados como regenerativos.

Ainda de acordo com Bonfim *et al.* (2020) quatro grupos de microrganismos que compõem o EM. O primeiro grupo é constituído por leveduras (*Sacharomyces*), que utilizam substâncias liberadas pelas raízes das plantas para sintetizar vitaminas e ativar outros microrganismos eficazes do solo. As substâncias bioativas produzidas por essas leveduras,

como hormônios e enzimas, estimulam a atividade celular até nas raízes. O segundo grupo é formado por actinomicetos, que controlam fungos e bactérias patogênicas e aumentam a resistência das plantas. O terceiro grupo é composto por bactérias produtoras de ácido lático (*Lactobacillus* e *Pediococcus*), que produzem ácido lático para controlar alguns microrganismos nocivos, como o *Fusarium*, além de liberar nutrientes às plantas através da fermentação da matéria orgânica não curtida. O quarto e último grupo é constituído por bactérias fotossintéticas, que utilizam a energia solar em forma de luz e calor para sintetizar vitaminas, nutrientes, aminoácidos, ácidos nucléicos, substâncias bioativas e açúcares, favorecendo o crescimento das plantas.

Essas bactérias também utilizam substâncias excretadas pelas raízes das plantas e aumentam as populações de outros microrganismos eficazes, como os fixadores de nitrogênio, os actinomicetos e os fungos micorrízicos (Bonfim et al., 2020).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, foi analisado se cada parâmetro estudado atenderia aos pressupostos do modelo estatístico para normalidade, avaliado pelo teste Shapiro-Wilk, e para homoscedasticidade, avaliado pelo teste de Bartlett, indicando a possibilidade de aplicação da análise estatística paramétrica (Tabela 4). Dessa forma, foi possível verificar que os dados dos parâmetros não foram significativos para os testes aplicados ao pressuposto do modelo matemático, o que permitiu a aplicação da análise estatística paramétrica. Também, foi verificado que o delineamento em blocos ao acaso foi apropriado para o experimento uma vez que foi observado efeito do bloco para os parâmetros altura de inserção da primeira vagem e massa de matéria seca. Adicionalmente, foi observado que os coeficientes de variação foram baixos para SPAD, altura de plantas e peso de mil sementes e médios para os demais parâmetros (Tabela 3).

De acordo com Pimentel-Gomes (2009), para experimentos de campo com culturas agrícolas, considera-se os valores de CV como baixos, quando são inferiores a 10%, médios, quando estão entre 10 e 20%, altos, quando estão entre 20 e 30%, e muito altos, quando são superiores a 30%.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as características de índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALTPL), altura de primeira vagem (ALTVAG), produção de matéria seca (MS), número de vagens (NVP), número de sementes (NSV), peso de mil sementes (PMS), produtividade (PROD).

Resumo da anava	Graus de liberdade	SPAD	ALTPL	ALTVA G	MS	NVP	NSP	PMS	PROD
Teste dos pressupostosPressupostos do modelo estatístico (P valor).....									
Normalidade									
(Teste Shapiro-Wilk)	-	0,386 ^{n.s}	0,275 ^{n.s}	0,357 ^{n.s}	0,288 ^{n.s}	0,955 ^{n.s}	0,243 ^{n.s}	0,575 ^{n.s}	0,282 ^{n.s}
Homoscedasticidade									
(Teste de Bartlett)	-	0,901 ^{n.s}	0,57 ^{n.s}	0,834 ^{n.s}	0,793 ^{n.s}	0,174 ^{n.s}	0,2 ^{n.s}	0,643 ^{n.s}	0,077 ^{n.s}
Independência dos erros									
(Teste de Durbin-Watson)	-	0,683 ^{n.s}	0,635 ^{n.s}	0,468 ^{n.s}	0,053 ^{n.s}	0,397 ^{n.s}	0,353 ^{n.s}	0,885 ^{n.s}	0,448 ^{n.s}
Fontes de VariaçãoSignificância do teste F Pr > f.....									
Microrganismos eficientes (EM)	1	0,416 ^{n.s}	0,235 ^{n.s}	0,370 ^{n.s}	0,643 ^{n.s}	0,250 ^{n.s}	0,359 ^{n.s}	0,394 ^{n.s}	0,217 ^{n.s}
Fertilizantes foliares (FF)	3	0,009*	0,232 ^{n.s}	0,526 ^{n.s}	0,020*	0,891 ^{n.s}	0,872 ^{n.s}	0,965 ^{n.s}	0,648 ^{n.s}
EM x FF	3	0,951 ^{n.s}	0,670 ^{n.s}	0,466 ^{n.s}	0,554 ^{n.s}	0,376 ^{n.s}	0,975 ^{n.s}	0,121 ^{n.s}	0,757 ^{n.s}
Bloco	4	0,182 ^{n.s}	0,438 ^{n.s}	0,079*	0,024*	0,672 ^{n.s}	0,649 ^{n.s}	0,192 ^{n.s}	0,104 ⁿ
Q.M. Resíduo	-	1,13	31,86	5,91	5,29	95,57	63,61	20,79	144318,6
Média	-	41,51	73,27	15,83	14,21	66,5	150,75	124,16	3.688,99
Coeficiente de variação									
		2,57%	7,7%	15,37%	16,17%	14,84%	16,86%	3,67%	10,3%

*ns Não significativo e * Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

SPAD = Índice SPAD; ALTPL = Altura de plantas; ALTVAG = altura de primeira vagem; MS = produção de matéria seca; NVP = número de vagens por planta; NSP = número de sementes por planta; PMS = peso de mil sementes; PROD = produtividade.

Ainda de acordo com a Tabela 4, foi observado que a maioria dos parâmetros analisadas não apresentou diferenças significativas para as variáveis estudadas bem como para a interação entre elas, com exceção da avaliação do índice de clorofila (SPAD) e matéria seca (MS) que foi significativo para aplicação do fertilizante foliar. Cabe destacar que as sementes

usadas no ensaio já haviam recebido uma dose inicial de Mo, o que pode ter ajudado a suprir a necessidade da lavoura. Também, uma aplicação de Co-Mo foi realizada via foliar no estádio (R2), por ser um padrão do produtor que cedeu a área para o experimento.

Foi notada uma superioridade dos resultados na aplicação dos fertilizantes foliares, em relação ao índice SPAD, quando os tratamentos incluíam Ni e Ni + CoMo, com os valores médios de 42,22 e 41,94, respectivamente. Valor superior ao encontrado no tratamento sem fertilizante, que obteve média de 40,62. A aplicação de CoMo não mostrou diferenças entre o tratamento sem fertilizante bem como a aplicação isolada de Ni e Ni + CoMo. Como não houve interação com a aplicação de EM, é possível inferir que esse resultado ocorre independente da presença ou ausência de microrganismos eficientes na cultura da soja (Tabela 5).

Tabela 5. Crescimento e desenvolvimento para as características de índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALTPL), altura de primeira vagem (ALTVAG), produção de matéria seca (MS).

Tratamentos	Índice de clorofila (SPAD)	ALTPL (cm)	ALTVAG (cm)	MS (g/planta)
.....Microrganismos eficientes.....				
Sem E.M	41,63 a*	74,35 a	16,17 a	14,38 a
Com E.M	41,35 a	72,23 a	15,47 a	14,04 a
.....Fertilizantes foliares.....				
Sem Fert. Foliar	40,62 b	70,91 a	15,3 a	13,03 b
Ni	42,22 a	75,14 a	15,7 a	15,76 a
CoMo	41,20 ab	72,27 a	15,5 a	15,09 ab
NiCoMo	41,94 a	75,86 a	16,8 a	12,98 b
Coefficiente de variação	2,57%	7,7%	15,37%	16,17%

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5% de significância pelo teste de tukey.

SPAD = Índice SPAD; ALTPL = Altura de plantas; ALTVAG = altura de primeira vagem; MS = produção de matéria seca.

O níquel é uma componente chave na enzima urease, a qual faz a quebra da ureia nas folhas de soja, o que resulta em maior disponibilidade de nitrogênio para a planta (TAIZ *et al.* 2017). Assim, a presença desse micronutriente pode favorecer processos de biossíntese de compostos nitrogenados na planta, como é o caso de aminoácidos, alcaloides produzidos no metabolismo secundário e a própria clorofila. Como o SPAD é uma medida de teor de

clorofila nas folhas, os maiores valores encontrado nos tratamentos que receberam níquel são indicativos de melhora no metabolismo de nitrogênio na planta.

Ainda em relação ao níquel, esse micronutriente está associado ao sistema antioxidante das plantas, sendo uma das formas da enzima superóxido dismutase (CHEN *et al.* 2009). Assim, como durante o processo de fotossíntese radicais superóxido são formados continuamente por ocasião da quebra da molécula de água (TAVANTI *et al.* 2021), é possível que uma nutrição adequada com níquel favoreça o sistema antioxidante, evitando que moléculas de clorofila sejam degradadas, outro fato que poderia justificar os maiores valores de SPAD para os tratamentos que receberam Ni.

Na produção de soja, o micronutriente Ni é ainda mais relevante pois atua diretamente na enzima hidrogenase, a qual recicla o hidrogênio produzido pela atividade da nitrogenase em nódulos das raízes maximizando a FBN (BAGYINKA, 2014).

Esse resultado corrobora aos observados por Franco (2015), que constatou em seus estudos de aplicação de Ni via semente, aumento do índice SPAD, nas doses de 360 mg kg⁻¹. Esse índice possui extrema importância, pois está diretamente associado ao teor de clorofila presente nas folhas de soja.

No estudo conduzido por Lopes *et al.* (2016), foram avaliadas a produtividade e a composição mineral do feijão em resposta à aplicação de duas doses de molibdênio (0 e 80 g/ha⁻¹) e cinco doses de níquel, na forma de cloreto de níquel hexahidratado (0, 15, 30, 45 e 60 g/ha⁻¹). Os resultados revelaram que a dose mais eficiente de níquel foi de 60 g/ha⁻¹, demonstrando uma resposta linear positiva no aumento da massa seca da parte aérea. Observou-se um incremento máximo de 27,97% nessa condição. Este efeito aconteceu também em nosso experimento onde foi notada uma superioridade dos resultados na aplicação dos fertilizantes foliares, quando os tratamentos incluíam Ni, com o valor médio de 15,76, sendo superior aos tratamentos que apresentavam Ni + CoMo e sem a aplicação de fertilizantes foliares, mas não diferente de CoMo (Tabela 5).

Já no experimento conduzido por Franco (2015), foram observadas diferenças significativas na produção de matéria seca em relação às doses de níquel aplicadas via sementes. Os resultados variaram de 6,6 a 10,8 g/planta para doses que variaram de 0 a 180 mg kg⁻¹. Foi constatado um efeito quadrático das doses de níquel aplicadas, sendo que a dose mais elevada resultou em um decréscimo na produção de matéria seca.

Ao analisar a Tabela 5, que apresenta os dados de crescimento e desenvolvimento da planta, especialmente na altura das plantas (ALTPL) e altura da primeira vagem (ALTVAG) não foram observados aumentos significativos nesses parâmetros. É importante considerar

que a presença de Cobalto e Molibdênio em todos os tratamentos por ocasião da aplicação padrão do produtor que pode ter influenciado nesses resultados. Adicionalmente, os resultados em relação a aplicação de E.M. não apresentaram diferenças significativas indicando que uma única aplicação não foi suficiente para resultar em incrementos nesses parâmetros analisados.

Esse resultado foi contrário ao esperado, uma vez que houve o indicativo de melhoria no metabolismo do nitrogênio indicado pelo resultado do índice de clorofila (SPAD), o que poderia resultar e maior crescimento da planta. Todavia, cabe ressaltar que a altura média das plantas de soja foi dentro do intervalo padrão observado para a cultura, indicando não haver sinais de problemas de fitoxidez nas aplicações. Porém, destaca-se que doses excessivas de cobalto e molibdênio pode ter efeito negativo na altura de planta, conforme observado no estudo de Carmo Filho (2022).

Quanto ao níquel, Moura (2021) verificou-se que os tratamentos que incluíam a aplicação de níquel via semente e foliar obtiveram os melhores resultados, com um maior desenvolvimento das plantas de soja, sendo diferente do observado nesse ensaio. Em relação a parâmetros de produtividade para os parâmetros de número de vagens (NVP), número de sementes por planta (NSP), peso de mil sementes (PMS), produtividade (PROD), os dados revelaram que, tanto na presença como na ausência de E.M, também não foram observados aumentos significativos (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros de produtividade para as características de número de vagens (NVP), número de sementes por planta (NSP), peso de mil sementes (PMS), produtividade (PROD).

Tratamentos	NVP (unidade)	NSP (unidade)	PMS (g)	PROD (kg/ha)
.....Microorganismos eficientes.....				
Sem E.M	67,7 a	153,15 a	124,79 a	3764,83 a
Com E.M	64,07 a	145,72 a	123,38 a	3613,16 a
.....Fertilizantes foliares.....				
Sem Fert. Foliar	66,3 a	150,64 a	123,59 a	3759 a
Ni	66,35 a	150,64 a	124,23 a	3728,33 a
CoMo	67,05 a	143,72 a	124,64 a	3710,66 a
NiCoMo	63,85 a	151,53 a	124,19 a	3558 a
Coefficiente de variação	14,84%	7,7%	15,37%	16,17%

*a Não significativo e Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

NVP = Número de vagem por planta; NSP = Número de sementes por planta; PMS = Peso de mil sementes; PROD = Produtividade.

Esses resultados diferem do esperado, uma vez que, conforme evidenciado anteriormente, houve um aumento significativo de clorofila nas folhas quando houve a aplicação de Ni, o que poderia ter favorecido a fotossíntese.

Em estudos de adubação com níquel aplicado via solo em diferentes solos tropicais, Levy *et al.* (2019) verificaram aumentos na massa de matéria seca de plantas de soja, independente do solo ser arenoso ou argiloso. Também foi verificado por esses autores um aumento na altura de plantas, atividade da enzima urease aos 70 dias após o plantio e número de vagens por planta. De acordo com esses autores a melhor dose aplicada via solo foi de 0.25g/kg^{-1} , independente do solo ser arenoso ou argiloso.

Adicionalmente, em relação aos nutrientes Co e Mo, os resultados desse ensaio diferiram dos resultados encontrados por Menichele *et al.* (2015) que observaram aumentos significativos no número de vagens por planta ao utilizar a aplicação foliar dos micronutrientes Co e Mo nos estágios fenológicos V4 ou Co em R2. Ainda para esses autores a maior produtividade foi alcançada ao aplicar Co e Mo nos estágios V2, V4 e R2 via foliar. Esses resultados destacam a eficácia desses nutrientes em promover um aumento do número de vagens por planta na cultura da soja.

Ao analisar os dados relacionados ao PMS, como demonstrado na Tabela 5, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre a aplicação de fertilizantes foliares e a aplicação de EM. Esses resultados sugerem que a utilização de Níquel, Cobalto e Molibdênio via foliar não teve efeito no parâmetro analisado.

Para Co e Mo, esse resultado conclusão está em consonância com um estudo anterior conduzido por Moraga (2018), que investigou a eficiência agrônômica da adubação foliar de Cobalto e Molibdênio nos estágios vegetativo (V5) e reprodutivo (R2) da soja. No estudo citado, diferentes doses dos nutrientes cobalto e molibdênio foram aplicadas via foliar, variando entre 50 mL/ha^{-1} , 100 mL/ha^{-1} , 150 mL/ha^{-1} e 300 mL/ha^{-1} , e também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas.

Analisando a produtividade, observa-se que os resultados obtidos não foram significativos (Tabela 6). Os valores de produtividade da testemunha e dos tratamentos são semelhantes, portanto, não se comprova a eficiência dos micronutrientes aplicados via foliar na soja nesse ensaio.

Esses dados corroborando aos encontrados por, Milani (2008) e Moraga (2018) que não alcançou efeitos significativos na produtividade da soja com a aplicação foliar de cobalto e molibdênio, sendo que as concentrações de Co e Mo aplicadas, não geraram toxidez a

planta, não geraram acúmulo de tais nutrientes na planta e também não houve aumento da produção. Embora alguns estudos não tenham comprovado a eficiência dos micronutrientes aplicados via foliar na produtividade da soja, é relevante mencionar o estudo realizado por Dourado-Neto (2012), que evidenciou resultados promissores. Esse estudo demonstrou que a aplicação foliar de cobalto e molibdênio pode levar a aumentos significativos na produtividade da cultura. De forma específica, a aplicação desses nutrientes no estágio V4, por meio da adubação foliar, resultou em um impressionante acréscimo de até 240 kg ha⁻¹ na produção de grãos de soja.

A resposta em produtividade de plantas de soja em relação a aplicação de níquel pode variar de acordo com diferentes tipos de genótipos. Freitas et al. (2018) realizaram um estudo envolvendo 15 genótipos de soja + 2 linhagens isogênicas de soja para enzima síntese de urease (urease positiva e urease nula) submetidos a adubação com níquel (0.0 e 0.5mg kg⁻¹), à campo e em casa de vegetação e verificaram que 12 dos 15 genótipos mais a linhagem isogênica urease positiva tiveram incrementos de produtividade de grãos em casa de vegetação. Em condição de campo apenas 4 genótipos tiveram superioridade na produção de grãos de soja. Destaca-se que nesse mesmo trabalho os autores também verificaram aumentos de índice SPAD quando houve a aplicação de níquel, independentemente de ser em casa de vegetação ou campo.

Resultados similares ao anterior também foram observados por Barcelos et al. (2017) que verificaram incrementos no índice SPAD em plantas de soja bem como maior produtividade para a aplicação foliar de Ni na dose de 20 g/ha⁻¹ na ausência do fungicida piraclostrobina (estrubirulina). Outro fator que pode influenciar a resposta de plantas de soja a níquel é a presença de míldio na lavoura. De acordo com Barcelos *et al.* (2018) a aplicação de níquel em lavoura de soja resulta em melhor controle de *Microsphaera difussa* na presença ou ausência de fungicidas na lavoura.

De modo geral, em relação ao EM, não foi observado efeitos significativos para os parâmetros avaliados o que pode ter ocorrido devido a insuficiência de aplicações ao longo do ciclo da soja. De acordo com Bonfim *et al.* (2020) a aplicação via pulverização de EM é recomendada que seja semanal para fins de garantia da melhoria das condições do solo e da planta. Nesse ensaio não foi possível a realização da aplicação semanal o que pode ter implicado na ausência de resultados. Adicionalmente, a lavoura foi conduzida em manejo convencional com uso de fungicidas para o tratamento de doenças da soja, fato que pode ter reduzido a eficácia desses microrganismos na lavoura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de adubação foliar com níquel (Ni) em V6, com ou sem Co-Mo, incrementa o índice de clorofila (SPAD) nas folhas e a massa de matéria seca (MS) em relação a ausência de fertilizante foliar, entretanto não resultando em aumento nas outras características de crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja. A aplicação única de EM no estágio V4 é insuficiente para causar alterações em características fitotecnias da cultura da soja

REFERÊNCIAS

- ALBINO, U. B. CAMPO, E. R. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 527-534, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/vyYy5TWsgMSqW3YdWBLrRwJ/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 11 dez. 2022.
- ALOVISI, A. M. T.; MAGRI, J.; DUTRA, J. E.; MAGRI, E.; SANTOS, M. J. G.; ALOVISI, A. A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/260/26024358003.pdf> Acesso em: 9 jan. 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, No. 6, 711–728, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 23 de jan. de 2023.
- ANDRADE, F. M. C. Caderno dos microrganismos eficientes (E.M): **Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. Viçosa - MG, ed. 3 P. 6-30, 2020. Disponível em: <https://gc.aksaam.ufv.br/xmlui/handle/123456789/96> Acesso em: 08 out. 2022.
- BAGYINKA, C. How does the ([NiFe]) hydrogenase enzyme work? **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 32, p. 18521-18532, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.07.009>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- BARCELOS, J. P. Q.; REIS, H. P. G.; GODOY, C. V.; GRATÃO, P. L.; FURLANI J. E.; PUTTI, F. F.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Impact of foliar nickel application on urease activity, antioxidant metabolism and control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) in soybean plants. **Plant Pathology**, v. 67, n. 7, p. 1502-1513, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12871>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; BOGNOLA, I. A.; CÚRCIO, G. R.; MANZATTO, C. V.; JÚNIOR, W. C.; CHAGAS, C. S.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. Mapa de solos Estado do Paraná: legenda atualizada. **Embrapa Solos, Embrapa Florestas**, Colombo, PR, 74 p. 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/578217/mapa-de-solos-do-estado-do-parana-legenda-atualizada> Acesso em: 15 mar. 2023
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, New York, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.85.3.801>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- CAMPO, R. J.; LANTMANN, A. F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, p. 1245-1253, 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4956>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- CARMO, F. A. S. Tratamento de sementes de soja com cobalto, molibdênio e níquel: efeitos no potencial fisiológico das sementes, nodulação e desempenho das plantas. **Doctoral**

dissertation, Universidade de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2022.tde-15092022-094047>. Acesso em: 30 out. 2022.

CARVALHO, J. G.; GOMES, D. P.; MORAIS, J. L.; MELO, A. L. F. Efeito da aplicação foliar de molibdênio sobre a produtividade e qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 13-20, 2010.

CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and Toxicity of Nickel in Plants: recent advances and future prospects. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 37, n. 4-5, p. 304-313, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/clen.200800199>. Acesso em: 03 nov. 2022

DOURADO, N. D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVINATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2741-2751, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33supl1p2741>. Acesso em: 15 Jan. 2023.

FAGERIA, N. K. Elementos benéficos para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1289-1309, 2010.

FRANCO, G. C. Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease. **Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo**, Piracicaba, 2015. Disponível em: [10.11606/D.64.2015.tde-19052015-143424](https://doi.org/10.11606/D.64.2015.tde-19052015-143424). Acesso em: 05 nov. 2022.

GLICK, B. R. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. **Canadian Journal Of Microbiology**, p. 109-117, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/m95-015>. Acesso em: 7 mar. 2023.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L.; Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil. **Informações Agronômicas**, v. 153, p. 1-8, Londrina, 2016. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/E713B266E48E24C983257F850067F82A/\\$FILE/Jornal153.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/E713B266E48E24C983257F850067F82A/$FILE/Jornal153.pdf). Acesso em: 09 dez. 2022.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J.; O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa**, 70 p. 2176-2937 Londrina, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundiale>. Acesso em: 02 mai. 2022.

LOPES, J. F.; COELHO, F. C.; RABELLO, W. S.; RANGEL, O. J. P.; GRAVINA, G. A.; VIEIRA, H. D. Produtividade e composição mineral do feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 419-426, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201663030020>. Acesso em: 25 Mai. 2023.

LOPES, K. S. DUARTE, D. C.; REIS, J. F. B. Avaliação da eficiência agronômica de inoculante para pré-inoculação de sementes de soja com tratamento químico até 20 dias antes do plantio. **Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Brasília**, Planaltina, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/14208>. Acesso em: 16 Set. 2022.

MARSCHNER, H.; **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A.; **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MENICHELE, A. W. B.; SILVA, J. A. G.; FERREIRA, I. Y. M.; AMARAL JÚNIOR, L. & PELÁ, A. Adubação foliar com molibdênio e cobalto na cultura da soja. In: **Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual de Goiás**: CEPE. Pirenópolis, GO.

MILANI, G. L.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, L. H. C.; VON PINHO, E. V. R.; GUIMARÃES, R. M. Nodulação e desenvolvimento de plantas oriundas de sementes de soja teores de molibdênio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 19-27, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222008000200003>. Acesso em: 16 abr.2023

MORAGA, G. F.; **Adubação foliar com cobalto e molibdênio na cultura da soja**. Instituto de ciências agrárias e ambiental curso de agronomia. Sinop, 2018.

MOURA, M. J. A.; CAZETTA, J. O. Métodos de aplicação de níquel e seus efeitos sobre as características agrônômicas e teor de proteína da soja. **Dissertação de mestrado**, 45 f, Jaboticabal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/217881>. Acesso em: 16 abr. 2023.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; & GONCALVES, S. L.; Tecnologias de produção de soja. **Embrapa, Soja**, p. 347. Londrina, 2020.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C; Morfologia, crescimento e desenvolvimento. **Tecnologias de produção e usos da soja**. p 7-16. Londrina: 2009.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N.; Fertilidade do solo, v. 1, p. 472-537, 2007.

OLIVEIRA, F. D.; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. D.; KLEPKER, D.; Fertilidade do solo e nutrição da soja. **Embrapa Soja**, 8 p. Londrina, 2007. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=5547360609590224338&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em: 03 dez. 2023.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. 451 p. Piracicaba, 2009.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N.; **Soja Molibdênio e Cobalto**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2010. 36 p. (Documentos, 322). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf> Acesso em: 21 fev. 2023.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J.; **Handbook for Rhizobia: methods in legume-rhizobium technology**. 450 p. New York, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLOR, I. M.; MURPHY, A.; **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVANTI, T. R.; A fertilização com micronutriente melhora o sistema de eliminação de ROS para aliviar o estresse abiótico nas plantas. **Fisiologia e Bioquímica vegetal**, v. 160, p. 386-396, 2021.

TORQUATO, J. P. P.; Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de nutrientes e na produção de “feijão caupi”. **Depto. de Solos**, Fortaleza, 2009.