



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESALQ – ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ
LSO – DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PACES – PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

THALES GÓES PRUDENCIANO SOUZA
VITOR TANAKA

Cobalto, Molibdênio e Níquel e a fixação biológica de nitrogênio na soja

PIRACICABA
2023

THALES GÓES PRUDENCIANO SOUZA
VITOR TANAKA

Cobalto, Molibdênio e Níquel e a fixação biológica de nitrogênio na soja

Revisão Bibliográfica apresentada
ao Grupo PACES – Projetando
Agricultura Compromissada em
Sustentabilidade da Escola
Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

Coordenadores:

Rodrigo Cintra Bachega

João Gonçalves Ólea Leone

PIRACICABA

2023

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 MOLIBÊNIO NA SOJA.....	4
3 COBALTO NA SOJA.....	9
4 NÍQUEL NA SOJA.....	10
5 CoMoNi	12
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
7 REFERÊNCIAS	16

1 INTRODUÇÃO

A soja possui um papel fundamental na economia brasileira, sendo uma das culturas mais importantes para o agronegócio nacional. Segundo informações da CONAB, na safra 2022/23, a área dedicada ao cultivo da leguminosa alcançou uma marca impressionante de 44 milhões de hectares, resultando em uma produção estimada de mais de 150 milhões de toneladas deste grão. Devido à sua grande importância, o manejo nutricional visando o fornecimento de todos os nutrientes necessários para obter o máximo desempenho das lavouras é essencial.

É nesse contexto que entra a relação de simbiose que a soja consegue estabelecer com os as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, popularmente conhecida como fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo engloba a conversão do nitrogênio atmosférico (N_2), através da enzima nitrogenase, para formas assimiláveis e absorvíveis pelas plantas. Desse modo, a fixação biológica de nitrogênio é capaz de fornecer uma fonte sustentável do macronutriente para a cultura, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados, e, também, viabilizando economicamente os custos de produção (HUNGRIA et al., 2007).

Com o objetivo de aumentar a eficiência do processo de fixação, é comum a aplicação de alguns elementos ligados diretamente às estruturas e reações que acontecem durante o processo de conversão. Esse é o caso do cobalto, molibdênio e níquel que são usualmente utilizados no tratamento de sementes e aplicações foliares da cultura. Esses 3 elementos fazem parte de enzimas centrais do processo de fixação, como a nitrogenase, leghemoglobina e hidrogenase, de modo que condições de deficiência desses nutrientes diminuem drasticamente a operação do processo de fixação (MARSCHNER, 2012).

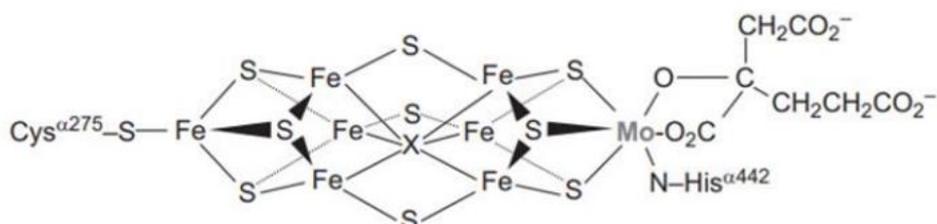
Portanto, essa revisão tem como objetivo abordar de forma mais específica a real participação desses 3 elementos no processo, analisando os métodos, modos e períodos de aplicação desses nutrientes que apresentam melhores resultados tanto para o processo de simbiose quanto para a produtividade da lavoura.

2 MOLIBÊNIO NA SOJA

O molibdênio é um dos 8 elementos essenciais para a planta, sendo classificado como um micronutriente, visto que é exigido em concentrações de mg/kg de MS nas plantas. Devido à sua elevada capacidade de oxirredução, ou seja, doar e receber elétrons, o molibdênio é amplamente utilizado pelas plantas em processos que envolvem a transferência de cargas, participando de diversos complexos enzimáticos (MARSCHNER, 2012).

De maneira geral, as leguminosas, em especial a soja, possui uma íntima relação com esse micronutriente, haja vista a sua importância no processo de fixação biológica de nitrogênio. A enzima nitrogenase – elemento chave no processo de redução do nitrogênio atmosférico – possui em sua estrutura um complexo formado a partir de ferro e molibdênio, nomeado como molibdoferredoxina, que possui a função de doar elétrons para que o processo ocorra (MARSCHNER, 2012).

Figura 1: Estrutura da nitrogenase com o enfoque para o complexo de ferro-molibdênio.



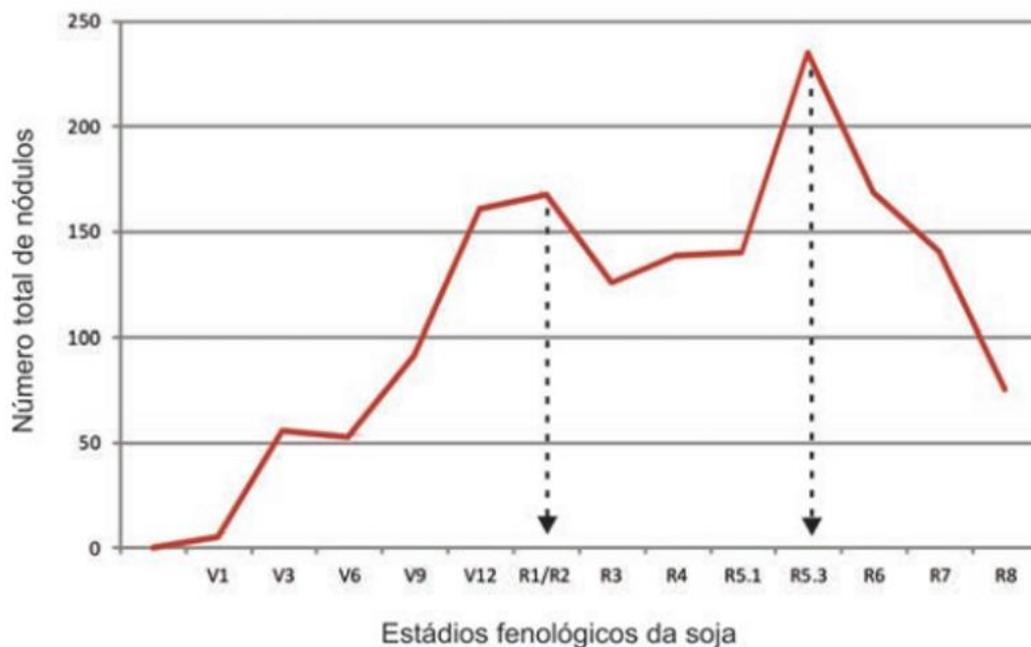
Fonte: Marschner (2012).

Desse modo, sabendo do seu importante papel no processo de simbiose entre as bactérias fixadoras e a soja, é possível dizer que a soja possui taxas maiores de extração e exportação desse nutriente quando comparada à outras culturas. Os valores podem variar de 5 a 7mg de Mo extraído por tonelada de grãos produzidos, de maneira que cerca de 70% desse nutriente é exportado, ou seja, 3,5 a 5 mg do nutriente são retirados da lavoura (EMBRAPA, 2013).

Desse modo, para suprir as necessidades pelo nutriente, o molibdênio é usualmente aplicado tanto no tratamento de sementes quanto na aplicação foliar na soja, em conjunto com o níquel e o cobalto, que também possui papel benéfico na fixação biológica. A aplicação direta nas sementes não deve ser excessiva, para evitar possíveis problemas com a germinação e as bactérias inoculadas, de modo que as

doses podem variar de 12 a 25g de Mo/ha. As aplicações foliares podem ser realizadas nos momentos de maior atividade metabólica dos nódulos (V4, R1 e R5), e, por consequência, maior requerimento do nutriente. Quando às doses, elas podem variar de 25 a 50g de molibdênio por hectares, a depender dos teores apresentados nas análises de solo e foliares (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011)

Figura 2: Variação da nodulação durante o ciclo fenológico da soja, cv. Conquista, expressa como número total de nódulos em raízes de 10 plantas. Média de dois anos agrícolas.



Fonte: Câmara (2014).

Um experimento realizado em campo na cidade de Barreiras-BA teve como objetivo avaliar a eficiência da fixação biológica em decorrência da aplicação de diferentes doses de Mo e Co na cultura da soja. Cada parcela do experimento englobava 16m² de área cultivada, com linhas de 5 metros de comprimento. Conduzido em delineamento de blocos casualizado em esquema fatorial de 3x3, foi testado três doses diferentes de Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo) aplicadas via sementes (0 g/ha e 0 g/ha; 2,5 g/ha e 21 g/ha; 5 g/ha e 42 g/ha, respectivamente) e as mesmas três doses de Co e Mo aplicadas via foliar 30 dias após a emergência da cultura (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

Para o preparo de solo, foi utilizado o sistema de plantio convencional, com a realização de duas operações de gradagem. A semeadura foi feita com a cultivar transgênica M-SOY 9144 RR, com espaçamento entre linhas de 0,5m com e com estande inicial de 16 sementes por metro linear. Após a emergência das plantas foi

realizado o desbaste, selecionando apenas 10 plantas por metro linear. Quanto aos insumos utilizados, foi realizado uma adubação de semeadura com doses de 667 kg/ha de P₂O₅ em conjunto com 69 kg/ha de KCl, de acordo com a recomendação de adubação a partir da análise de solo. Para a inoculação foi utilizado estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum* (300 g do inoculante para 250 kg de sementes), do Biomax Premium que contém duas estirpes (SEMIA 5079 e SEMIA 5080). O fornecimento dos micronutrientes foi feito com a adição do Nodulus Premium 255, que possui em sua composição 255 e 25,5 g. L⁻¹ de Mo e Co, respectivamente (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

O primeiro tratamento foi realizado a aplicação do Mo e Co no tratamento de sementes em conjunto com o inoculante turfoso e uma solução de 10% de açúcar. O segundo tratamento consistia na aplicação foliar de Mo e Co misturado com água e pulverizado nas folhas 30 dias após a emergência das plantas. Para o manejo sanitário, foi utilizado os inseticidas Pounce 384 CE (piretróide; 130 mL/ha) e Lanate (fosforado; 1 L/ha) para o controle de percevejos e lagartas. Além disso, foi aplicado glifosato em doses de 1L/ha para o controle das daninhas em conjunto com o controle mecânico através da capina após a semeadura. Quanto às doenças não foi necessário realizar o controle, visto que não houve problemas (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

A primeira avaliação foi feita 65 DAP, onde foi avaliado a altura, massa seca aérea e radicular e o número de nódulos de 5 plantas escolhidas de cada parcela. A segunda avaliação foi feita na colheita 128 DAP, de modo que foi retirado 3 plantas por parcela para a consequente avaliação do número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e número de vagens por planta. A estimativa de produtividade foi calculada a partir de 10 plantas colhidas das linhas centrais de cada parcela, para evitar efeitos de bordadura (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que houve relação entre o número de nódulos e as diferentes doses de Mo e Co no TS (tabela 1). A aplicação de elevadas doses de Mo (42g/ha) diretamente nas sementes ocasionou na redução do número de células de *Bradyrhizobium, e*, consequentemente, no número de nódulos, devido ao possível efeito salino ou bactericida da fonte utilizada, de modo que a maior taxa de nodulação foi observada no tratamento onde foi aplicado 21g de Mo por hectare. Quanto à resposta sobre a aplicação foliar, só houve incremento no número de nódulos quando não foi realizado a aplicação dos nutrientes no TS, e, portanto,

questionando a eficiência da aplicação via foliar. Logo, podemos concluir que é a aplicação de Mo e Co diretamente sobre as sementes, é mais eficiente para o desenvolvimento nodular, visto que apresentaram melhores resultados quando comparados à aplicação foliar. Entretanto, vale ressaltar a importância da dose utilizada, para não ocasionar em possíveis problemas com os inóculos das bactérias (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

Tabela 1: Número médio de nódulos por planta de soja, nos tratamentos submetidos a diferentes doses de Co e Mo em aplicações via sementes e via foliar.

Co + Mo no TS (g/ha)	Co + Mo foliar (g/ha)		
	0+0	2,5 + 21	5+42
0+0	11	12,33	34
2,5 + 21	18,67	22,67	22,67
5+42	10,33	12	11,33

Fonte: Adaptado de Mata *et al.* (2011).

A produtividade obtida das diferentes parcelas nos mostrou resultados similares, com exceção do tratamento no qual não houve aplicação de Mo e Co no TS e a aplicação da dose máxima foliar (5+42 g/ha). Nesse caso a aplicação do Mo + Co foliar resultou sim em diferenças positivas, com incrementos de 74,38% na produtividade da soja (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

Tabela 2: Produtividade média da soja, nos tratamentos submetidos a diferentes doses de Co e Mo em aplicações via sementes e via foliar.

Co + Mo no TS (g/ha)	Co + Mo foliar (g/ha)		
	0+0	2,5 + 21	5+42
0+0	47,04	47,01	82,03
2,5 + 21	47,03	47,05	47,04
5+42	47,05	47,04	47,04

Fonte: Adaptado de Mata *et al.* (2011).

O número médio de vagens por planta também seguiu os mesmos parâmetros da produtividade esperada, visto que a parcela sem TS e com doses duplicadas dos nutrientes via foliar apresentaram os maiores números médios de vagens por planta (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

Tabela 3: Número médio de vagens por planta de soja, nos tratamentos submetidos a diferentes doses de Co e Mo em aplicações via sementes e via foliar.

Co + Mo no TS (g/ha)	Co + Mo foliar (g/ha)		
	0+0	2,5 + 21	5+42
0+0	52,44	52,56	103,67
2,5 + 21	52,33	52,73	52,55
5+42	52,67	52,33	54,00

Fonte: Adaptado de Mata *et al.* (2011).

Portanto, podemos concluir que a aplicação o TS possui maior eficiência no auxílio do processo de nodulação, mas que doses excessivas podem ter efeito negativo, também. Entretanto, vale ressaltar que o aumento da nodulação não se traduz no aumento da produtividade, uma vez que os melhores resultados foram obtidos no tratamento que não passou por TS, mas somente pela aplicação foliar (MATA; ALMEIDA; REIS, 2011).

3 COBALTO NA SOJA

Os denominados elementos benéficos são aqueles que auxiliam no crescimento ou processos do metabolismo vegetal, mas que não essenciais, ou seja, não possuem sua essencialidade comprovada através dos critérios diretos ou indiretos. É esse contexto que entra o cobalto, elemento cuja essencialidade não é comprovada, mas que possui papel essencial nas plantas, principalmente naquelas que estabelecem relações simbióticas com os organismos fixadores (MARSCHNER, 2012).

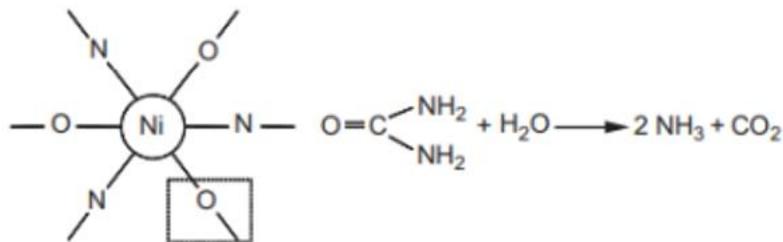
No caso da soja, o cobalto é por muitos considerado como nutriente, tendo em vista sua participação no processo de fixação. Essa necessidade foi comprovada pelos cientistas Ahmed e Evans em 1960, que cultivaram plantas dependentes da fixação em condições de ausência do elemento. Desse modo, eles observaram que na falta do cobalto as plantas tiveram seu desenvolvimento prejudicado quando comparado às plantas que tiveram o suprimento normal do elemento. Posteriormente, foi estabelecido de fato a função desse nutriente no processo, a partir da interdependência da concentração da coenzima cobalamina b12 e do nutriente (MARSCHNER, 2012).

Como citado anteriormente, o principal papel do Co é na coenzima cobalamina (vitamina b12 e seus derivados). Nessa enzima, o Co está ligado a quatro átomos de hidrogênio no centro de uma estrutura semelhante a uma porfirina, com papel semelhante ao ferro na hemoglobina. Por sua vez, a leghemoglobina atua como controlador das quantidades excessivas de oxigênio, uma vez que apesar de ser um processo aeróbio, o oxigênio pode reagir com a nitrogenase, diminuindo, assim, o processo de fixação (MARSCHNER, 2012).

4 NÍQUEL NA SOJA

Na soja, o Ni atua na constituição da enzima urease, que é responsável por catalisar a conversão da ureia em $\text{CO}_2 + \text{NH}_3$. Esta amônia será posteriormente incorporada nos esqueletos de carbono. Foi a partir dessa função que se foi descoberto a essencialidade do níquel na década de 80 (PRADO, 2020).

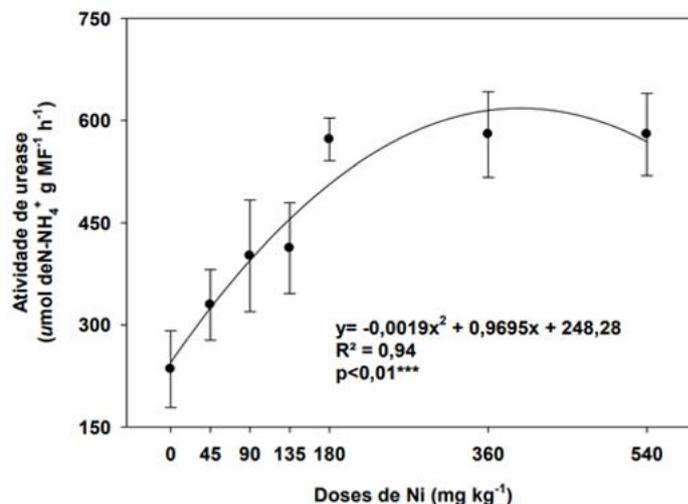
Figura 3: Reação da urease.



Fonte: Prado (2020).

De acordo um experimento realizado por Franco (2015), a presença de Ni influenciou diretamente na atividade da enzima urease na soja, que variou de 235 a 280 micro mol de N-NH_4^+ $\text{g MF}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente, nas doses de 0 a 540 mg/kg. Observou-se efeito quadrático da atividade da urease, em função dos tratamentos, sendo que a atividade aumentou até a dose de Ni de 180 mg/kg.

Figura 4: Atividade da enzima urease (coletada no estado fenológico de R1), das plantas de soja (cultivar BMX Potência) em função de doses de Ni via semente.



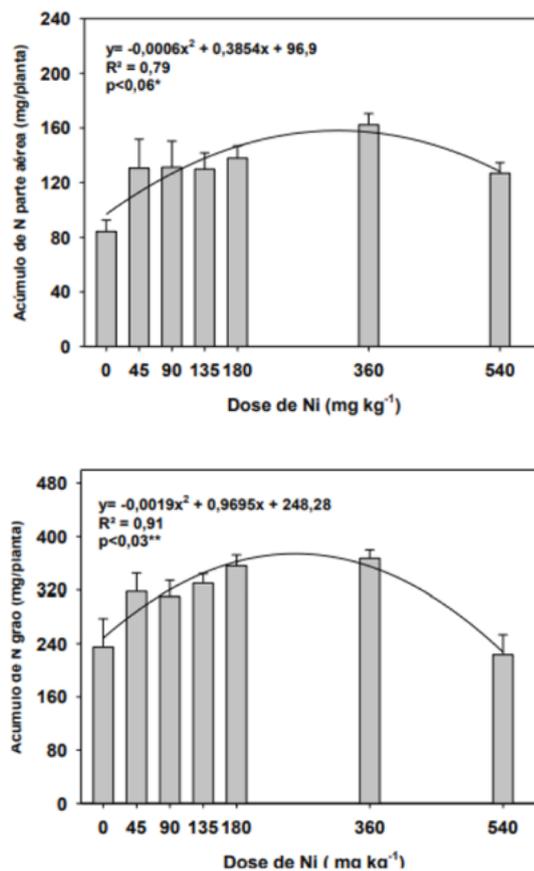
Fonte: Franco (2015).

Além disso, o Ni atua na ativação da enzima hidrogenase, responsável por oxidar o oxigênio molecular em prótons e elétrons, durante a fixação biológica de

nitrogênio das bactérias *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Pela ação da hidrogenase, parte do gás H₂ gerado pela FBN pode ser reoxidado, fazendo com que essa energia seja utilizada para quebra de triplas ligações de N₂ atmosférico (MOURA, 2020).

Segundo Franco (2015), a presença de Ni estimulou o processo de FBN através de maior produção da hidrogenase, gerando um aumento da eficiência do processo de fixação. Isso refletiu o maior acúmulo de N na parte aérea e nos grãos, como é possível observar nesses gráficos:

Figura 5: Concentração e acúmulo de N nos grãos e na parte aérea (coletada em R7) em função de doses de Ni via semente.



Fonte: Franco (2015).

5 CoMoNi

Tendo em vista a importância desses três elementos anteriormente citados para uma maior produtividade da soja, decorrente de uma maior taxa de fixação de nitrogênio e melhor aproveitamento na utilização do nutriente, a aplicação de cobalto, molibdênio e níquel é algo muito comum na cultura da soja.

Para avaliar a influência do CoMoNi na FBN, Manfro (2020) realizou 3 tratamentos de semente de soja da variedade *Monsoy 8372*, em 3 parcelas, de 1 hectare cada. No tratamento 1 (T01) não houve adição de micronutrientes na semente. No tratamento 2 (T02), foi-se aplicado 200 ml/ha de Co+Mo, possuindo 1% de cobalto e 10% de molibdênio. E no terceiro tratamento (T03), foi utilizado CoMoNi na quantidade de 200 ml/ha, sendo 1% de níquel, 0,5% de cobalto e 9% de molibdênio.

Tabela 4: Número de nódulos e massa de nódulos oriundos do processo de fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja resultante do: tratamento de controle (T01), tratamento com aplicação de Co + Mo (T02) e tratamento com aplicação de Co + Mo + Ni (T03)

Tratamentos	Número de nódulos (unidades)	Massa de nódulos (gramas)
Tratamento 01 (T01)	151	0,6g
Tratamento 02 (T02)	173	0,8g
Tratamento 03 (T03)	227	1,5g

Fonte: Adaptado de Manfro (2020).

Além disso, analisou-se a produtividade de soja nos diferentes tratamentos. Através dessa análise, evidenciou-se uma diferença de cerca de 17 sacas/ha do tratamento controle (T01) para o tratamento com CoMoNi (T03). Evidenciando a relevância desses 3 elementos para a cultura da soja visando alta produtividade (MANFRO, 2020).

Tabela 5: Produtividade total na cultura de soja resultante do: tratamento controle (T01); tratamento com aplicação de Co + Mo (T02) e tratamento com aplicação de Co + Mo + Ni

Tratamento	Produtividade (kg/ha)	Sacas (unidades/ha)
Tratamento 01 (T01)	3190	53,16
Tratamento 02 (T02)	3808	63,46
Tratamento 03 (T03)	4209	70,15

Fonte: Adaptado de Manfro (2020).

Ademais, também é relevante analisar a maneira com a qual é aplicado essa mistura de nutrientes. Um estudo realizado por Silva *et. Al.* (2023), analisou se havia diferença entre aplicação em tratamento de sementes ou em aplicação foliar.

Aplicações foliares foram feitas com 200 ml/ha. Para o tratamento de sementes, foi-se aplicado 2 ml/kg de sementes. Analisando-se a fitomassa seca da raiz, não foi encontrada diferença estatística entre aplicação de CoMoNi no TS ou via foliar, tanto em 12 dias após emergência como em 72 (SILVA *et. al*, 2023).

Tabela 6: Fitomassa seca da raiz (g/planta) aos 12 e 78 DAS.

Especificações	Fitomassa seca de raiz	
	12 DAS	78 DAS
Controle	0,033	0,368
CoMoNi (Foliar)	0,040	0,456
CoMoNi (TS)	0,043	0,458

Fonte: Adaptado de Silva *et. Al.* (2023).

Também foi observado a massa seca de folhas nas mesmas condições, onde não foi visto nenhuma diferença estatística (SILVA *et. al*, 2023). Logo, pode-se afirmar que a não há diferença em produtividade caso CoMoNi seja aplicado em tratamento de sementes ou foliar.

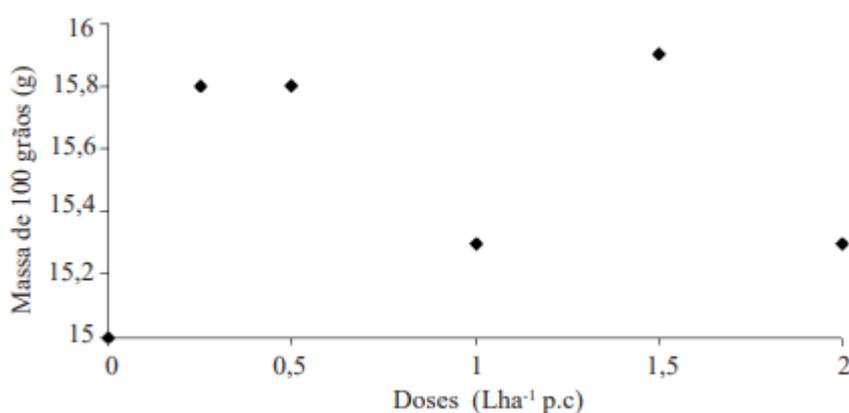
Tabela 7: Fitomassa seca de folhas (g/planta) aos 12 e 78 DAS.

Especificações	Fitomassa seca de folhas	
	12 DAS	78 DAS
Controle	0,045	0,525
CoMoNi (Foliar)	0,052	0,570
CoMoNi (TS)	0,056	0,627

Fonte: Adaptado de Silva *et. Al.* (2023).

Caso seja realizado aplicação via foliar, diferentes doses geram diferentes resultados. De acordo com Golo (2009), a maior massa de 100 grãos na soja ocorreu com a aplicação de 1,5 L/ha de Co + Mo, com 1% de cobalto e 6% de molibdênio. Observou-se que nessa dose, obtém-se 15,90 gramas em 100 grãos de soja, enquanto na testemunha (0,0 L/ha), notou-se 15,01 gramas em 100 grãos. Ocorreu um aumento de 5,9%.

Figura 6: Massa de 100 grãos na cultura da soja, submetidas a diferentes doses de CoMo em aplicação via foliar.



Fonte: Golo (2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de CoMoNi visa aumentar e facilitar a Fixação Biológica de Nitrogênio na cultura da soja. O molibdênio atua na nitrogenase, sendo parte estrutural da enzima, que é responsável pela quebra da tripla ligação de N_2 atmosférico para fixá-lo no solo. O cobalto atua na cobalamina, coenzima responsável pelo pleno funcionamento da leghemoglobina, que é uma controladora da quantidade de oxigênio disponível, visto que é responsável por fornecer oxigênio para as bactérias e impedir que o oxigênio livre se ligue à nitrogenase, aumentando sua eficiência. O níquel atua na urease, enzima que transforma ureia em NH_3 e CO_2 , e na hidrogenase, responsável pela protonação do hidrogênio nos nódulos.

A aplicação de CoMoNi pode ocorrer tanto via tratamento de sementes como por aplicação foliar, e com uma dose recomendada de 1,5 L/ha para ocorrer aplicação foliar.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA. **Fixação biológica de nitrogênio - perguntas e respostas**. Embrapa, Brasília, 2020. Acessado em 8 jul. 2020. Online. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/perguntas-erespostas>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, **Sistemas de Produção 16**. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014. Londrina – PR, 266p. 2013.

FRANCO, G. de C. **Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOLO, A. L. et al. Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 40-49, 2009.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80p. (Documentos/Embrapa Soja, n.283)

MANFRO, S. **Aplicação de micronutrientes no tratamento de semente para potencialização da fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. 2020.

MATA, F. S. D; ALMEIDA, J. A. R.; REIS, T. C. **1Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio na Cultura da Soja com Aplicação de Diferentes Doses de Molibdênio (Mo) e Cobalto (Co)**. 2011. 7 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade do Estado da Bahia, Barreiras, 2011.

MOURA, M. J. A. de. **Métodos de aplicação de níquel e seus efeitos sobre as características agrônômicas e teor de proteína da soja**. 2020.

PRADO, R. de M. **Nutrição de Plantas**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2020. 414 p.

RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (ed.). **MARSCHNER's Mineral nutrition of plants**. 4. ed. [S.l]: Academic Press, 2012. 817 p.

SILVA, G. V.; SOARES, L. H. **Cultura de soja: influência da aplicação de cobalto, molibdênio e níquel em condições de casa de vegetação**. Perquirere, v. 20, n. 2, p. 43-51, 2023.