



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

BRUNA MIGUEL CARDOSO

**MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE
RENDIMENTO E QUALIDADE DAS SEMENTES DA SOJA
CULTIVADA EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

Londrina

2022

BRUNA MIGUEL CARDOSO

**MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE
RENDIMENTO E QUALIDADE DAS SEMENTES DE SOJA
CULTIVADA EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira

Coorientador: Prof. Dr. Edson Lazarini

Londrina

2022

Miguel Cardoso, Bruna. MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE DAS SEMENTES DE SOJA CULTIVADA EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS / Bruna Miguel Cardoso. - Londrina, 2022. 53 f.

Orientador: Adonis Moreira. Coorientador: Edson Lazarini. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022. Inclui bibliografia.

1. Lipídeo - Tese. 2. Proteína - Tese. 3. Vigor - Tese. I. Moreira, Adonis . II. Lazarini, Edson. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

BRUNA MIGUEL CARDOSO

**MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NOS COMPONENTES DE
RENDIMENTO E QUALIDADE DAS SEMENTES DE SOJA
CULTIVADA EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adonis Moreira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Edson Lazarini
Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” -
UNESP

Prof. Membro 3
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Membro 4
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 23 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha avó Zilda e tio Edimar, pelo amor e apoio que sempre me deram;

À Larissa, grande amiga e companheira de graduação e mestrado;

Aos meus orientadores, Dr. Adônis Moreira e Dr. Edson Lazarini, pelos ensinamentos e amizade;

Ao Rodrigo S. Leite do Laboratório de Melhoramento da Embrapa Soja, pelas análises de óleo e proteína;

À Dra. Larissa A. C. Moraes da Embrapa Soja, pela revisão do trabalho de dissertação;

À CAPES e CNPq pelos recursos financeiros para realização deste trabalho;

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP, campus de Ilha Solteira) por todo conhecimento e suporte que me deram durante esses anos;

Aos Professores da UEL pelos ensinamentos transmitidos;

À Embrapa Soja, por todas as experiências e aprendizados, além de amizades que levarei para a vida;

Aos técnicos de apoio da Embrapa Soja, UEL e UNESP pela ajuda na realização dos experimentos;

Sem vocês nada disso seria possível, minha eterna gratidão!

A Deus.

**A minha família,
Edineusa, Onivaldo e Adriana,
pelo amor e incentivo.**

CARDOSO, Bruna Miguel. **Molibdênio e níquel nos componentes de rendimento e qualidade de sementes da soja cultivada em duas condições edafoclimáticas**. 2022. 52f. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2022.

RESUMO

A expressão de altas produtividades associadas à grãos com elevados teores de proteínas e lipídeos, bem como a obtenção de sementes de qualidade, é um dos grandes desafios da produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil. O molibdênio (Mo) e o níquel (Ni) são importantes para a assimilação do nitrogênio (N), o Ni compõe a urease, responsável pela degradação de ureídeos em amônio (NH_4^+) e gás carbônico (CO_2). O Mo constitui, entre outras enzimas, a redutase do nitrato, glutamina sintetase (GS) e glutamato sintetase (GOGAT). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da aplicação foliar de Mo e Ni na fase reprodutiva (R_3 e R_5) de cultivares de soja, seus reflexos nos componentes de rendimento, qualidade de sementes, teores de proteína e lipídeo, em duas condições de manejo. Os experimentos foram em blocos casualizados em esquema fatorial com 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1600 g ha⁻¹) e 3 de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹), com 4 repetições. As cultivares foram a TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR em Selvíria/MS, em plantio convencional, irrigadas por pivô central e a M 5947 IPRO em Londrina/PR, em sistema plantio direto, sem irrigação. Houve interação da aplicação foliar de Mo e Ni para produtividade de grãos (PG), entretanto somente o Mo foi significativo para o conteúdo de proteína. Para a altura (H), número de grãos por planta (NGP) e número de vagens por planta (NVP), apresentou efeito das doses de Mo e interação Mo × Ni na cultivar TMG 7063 IPRO. A aplicação foliar de Mo não influenciou na germinação, mas incrementou o teor de N, tamanho e o vigor das sementes, enquanto as doses de Ni diminuiu a protrusão radicular. Os resultados demonstraram potencial de uso de Mo e Ni na soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Micronutrientes. Proteína. Lipídeo. Vigor.

CARDOSO, Bruna Miguel. **Molybdenum and nickel application on yield components and quality seed of soybean cultivated in two edaphoclimatic conditions.** 2022. 57f. Master's Dissertation in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2022.

ABSTRACT

The expression of high yields associated with grains with high levels of proteins and lipids, as well as obtaining quality seeds, is one of the great challenges of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) production in Brazil. Molybdenum (Mo) and nickel (Ni) are important for the assimilation of nitrogen (N), Ni composes urease, responsible for the degradation of ureides into ammonium (NH_4^+) and carbon dioxide (CO_2). Among other enzymes, Mo constitutes nitrate reductase, glutamine synthetase (GS) and glutamate synthetase (GOGAT). Thus, the objective of this work is to evaluate the effects of foliar application of Mo and Ni in the reproductive phase (R_3 and R_5) of soybean cultivars, their effects on yield components, seed quality, protein and lipid levels, in two management conditions. The experiments were in randomized blocks in a factorial scheme with 4 doses of Mo (0, 400, 800 and 1600 g ha^{-1}) and 3 doses of Ni (0, 60 and 120 g ha^{-1}), with 4 replications. The cultivars were TMG 7063 IPRO and BMX Desafio RR in Selvíria/MS, in conventional planting, irrigated by central pivot, and M 5947 IPRO in Londrina/PR, in no-tillage system, without irrigation. There was interaction between Mo and Ni foliar application for grain yield (GY), however only Mo was significant for protein content. For height (H), number of grains per plant (NGP) and number of pods per plant (NPP), there was an effect of Mo doses and Mo \times Ni interaction in TMG 7063 IPRO cultivar. Mo foliar application did not influence germination, but increased N content, seed size and vigor, while Ni doses decreased root protrusion. The results demonstrated potential use of Mo and Ni in soybean.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Micronutrients. Protein. Lipid. Force.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	DESENVOLVIMENTO.....	4
2.1	A IMPORTÂNCIA DO MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NA ASSIMILAÇÃO DO NITROGÊNIO.....	4
2.2	NÍQUEL E MOLIBDÊNIO E OS DESAFIOS DA PRODUÇÃO DA SOJA.....	5
2.3	NÍQUEL NA PLANTA.....	6
2.4	MOLIBDÊNIO NA PLANTA.....	7
2.5	MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NA QUALIDADE DE SEMENTES.....	8
2.6	MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.6.1	Áreas e Delineamento Experimental.....	9
2.6.2	Avaliações.....	10
2.6.2.1	Componentes de rendimento.....	10
2.6.2.2	Qualidade de sementes.....	10
2.6.2.3	Análises estatísticas.....	11
2.7	REFERÊNCIAS.....	12
2.8	RESULTADOS.....	16
2.8.1	Molibdênio e Níquel nos Componentes de Rendimento, Teor de Óleo Proteína da Soja.....	16
2.8.1.2	Introdução.....	17
2.8.1.3	Desenvolvimento.....	18
2.8.1.3.1	<i>Áreas e delineamento experimental.....</i>	<i>18</i>
2.8.1.3.2	<i>Avaliações.....</i>	<i>19</i>
2.8.1.3.3	<i>Análise estatística.....</i>	<i>19</i>

2.8.1.3.4	<i>Resultados e discussão</i>	20
2.8.1.3.5	<i>Conclusões</i>	28
2.8.1.3.6	<i>Agradecimentos</i>	29
2.8.1.3.7	<i>Referências</i>	29
2.8.2	Qualidade de Sementes da Soja em Resposta à Aplicação Foliar de Molibdênio e Níquel.....	32
2.8.2.1	Introdução.....	33
2.8.2.2	Desenvolvimento.....	34
2.8.2.2.1	<i>Áreas e delineamento experimental</i>	34
2.8.2.2.2	<i>Avaliações</i>	35
2.8.2.2.3	<i>Análise estatística</i>	35
2.8.2.2.4	<i>Resultados e discussão</i>	36
2.8.2.2.5	<i>Conclusões</i>	41
2.8.2.2.6	<i>Agradecimentos</i>	41
2.8.2.2.7	<i>Referências</i>	42
3	CONCLUSÃO	44

1 INTRODUÇÃO

A expressão do rendimento máximo de grãos e qualidade fisiológica de sementes é determinada por características genéticas e suas respostas ao ambiente. Dentre os principais fatores abióticos destacam-se as condições edafoclimáticas, as quais envolvem, principalmente, características do clima e do solo. A produtividade da soja *Glycine max* (L.) Merrill associada a grãos ricos em proteínas e lipídeos pode ser limitada por essas condições.

O molibdênio (Mo) tem papel fundamental na fixação biológica de nitrogênio (FBN), pois funciona como cofator enzimático da nitrogenase. O níquel (Ni) é um metal que também influencia na FBN, pois compõe a hidrogenase, responsável pela otimização do gasto energético nesse processo. Entretanto, o Mo e o Ni são constituintes de enzimas fundamentais responsáveis pela assimilação do nitrogênio (N), que está diretamente relacionado ao teor de proteína e lipídeo nos grãos.

A translocação do N pela soja ocorre principalmente na forma de ureídeos, que são hidrolisados em amônia (NH_3) e gás carbônico (CO_2) pela urease, esta possui o Ni como parte da sua composição. O NH_3 liberado é assimilado e incorporado em aminoácidos pela glutamina sintetase (GS) ou glutamato sintetase (GOGAT), as quais possuem o Mo como componente. Contudo, em condições de estresse ambiental, as plantas preferem utilizar o nitrato (NO_3^-) como fonte de N.

O Mo constitui a nitrato redutase, responsável pela redução do NO_3^- a nitrito (NO_2^-) e este a amônio (NH_4^+), que pode ser incorporado em aminoácidos e conseqüentemente em proteínas. Entretanto, pode ser usado para a síntese de lipídeos, uma vez que a soja é constituída principalmente dessas moléculas. Contudo, com o aumento dos componentes de rendimento, a concentração de proteínas e lipídeos das sementes ou grãos diminuem devido à relação fonte/dreno.

Diante da influência do Mo e Ni no metabolismo, o objetivo deste trabalho é obter grãos ricos em proteínas e lipídeos, sem afetar os componentes de rendimento da cultura, bem como quantificar as influências desses micronutrientes na qualidade fisiológica das sementes, em duas condições edafoclimáticas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 A IMPORTÂNCIA DO MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NA ASSIMILAÇÃO DO NITROGÊNIO

Segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) a produção de grãos foi de 135,9 milhões de toneladas na safra 2020/21, com incremento de 8,9% na produtividade em relação ao ano anterior. Os grãos são utilizados desde a alimentação humana (óleos e margarinas), nutrição animal (farelo de soja), indústria farmacêutica e de cosméticos, até a produção de biodiesel (HIRAKURI, 2020). O N é o nutriente requerido em maior quantidade e a FBN é responsável pelo fornecimento desse macronutriente. Ocorre através da associação simbiótica de bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* com as raízes. A formação dos nódulos envolve genes sinalizadores, nos rizóbios são chamados de genes de nodulação e nos vegetais, genes dos nódulos ou nodulinos (MALAVOLTA 2007; EMBRAPA, 2016; TAIZ *et. al.*, 2017).

A partir desses sinalizadores, inicia-se o processo de infecção e organogênese, no qual os pelos radiculares se encurvam e as paredes celulares se degradam, formando o canal de infecção. Ao serem liberadas no citoplasma celular, as bactérias formam organelas denominadas simbiossomas. Estas são envolvidas por uma membrana (bacterióide) criando um ambiente microanaeróbio, em razão da sensibilidade da nitrogenase ao oxigênio (O_2). A leg-hemoglobina, uma proteína heme, é a responsável por transportar O_2 em quantidades muito pequenas (20 – 40 nanomolar), que permite a respiração das células bacterianas, sem comprometer a função da nitrogenase.

Os bacterióides utilizam de compostos orgânicos disponibilizados pelas plantas, os quais fornecem energia para que a nitrogenase reduza o N molecular (N_2) mais 8 íons hidrogênio (H^+), em duas moléculas de NH_3 e uma de hidrogênio (H_2). O NH_3 é liberado no citosol na forma de NH_4^+ , o qual é transportado pelo xilema como ureídeo (TAIZ *et. al.*, 2017). O Ni é constituinte da urease, que catalisa a hidrólise dos ureídeos em NH_3 e CO_2 . E o Mo é cofator da GS e GOGAT, responsáveis pela assimilação do NH_3 liberado, o qual pode ser incorporado em aminoácidos e conseqüentemente em proteínas (PAGE & FELLER, 2005; TAIZ *et al.*, 2017).

2.2 NÍQUEL E MOLIBDÊNIO E OS DESAFIOS DA PRODUÇÃO DA SOJA

O Ni tem origem principalmente de rochas magmáticas, as quais também são constituídas de minerais ferro-magnesianos e outros metais como cromo (Cr), manganês (Mn) e cobalto (Co) (SILVA & BRAGA, 2020). Sua disponibilidade é influenciada pelo material de origem, condições físicas e químicas dos solos (MALAVOLTA, 2006; KABATA-PENDIAS, 2011; REIS *et. al.* 2014). Levy (2013) concluiu que a absorção de Ni depende da textura do solo. O mesmo foi concluído por Rodak (2014) ao obter incremento na produtividade da soja em solo franco-arenoso.

De acordo com Malavolta (2006), o Ni pode estar na solução, na forma trocável e não trocável, ligado a minerais ou a matéria orgânica. É absorvido preferencialmente na forma de Ni^{2+} , portanto pode competir por sítios de adsorção com íons de mesma valência e raio iônico semelhante, como o cobre (Cu^{2+}), o ferro (Fe^{2+}) e o zinco (Zn^{2+}). Altos teores de Zn, Cu, cálcio (Ca) e magnésio (Mg), bem como altas doses de adubos fosfatados, também prejudicam a absorção de Ni pelas plantas (MALAVOLTA & MORAES, 2007).

O Mo é um metal raro na crosta terrestre e também tem origem de rochas ígneas (FERREIRA *et. al.*, 2018). No solo está na forma aniônica HMoO_4^- e MoO_4^{2-} , portanto possui comportamento semelhante a fosfatos e sulfatos, os quais competem por sítios de adsorção (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). São facilmente adsorvidos na fração argila, principalmente a óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Pode estar na solução, forma lábil e não lábil, porém sua disponibilidade ocorre em condições de pH elevado (MALAVOLTA, 2006).

Contudo 58% da extensão territorial brasileira é constituída de solos profundos e ácidos, dificultando o fornecimento desses micronutrientes (SFREDO & OLIVEIRA, 2010; EMBRAPA, 2011; RODAK, 2014). Um dos grandes desafios é obter elevada produtividade associada a altos teores de óleo e proteína. Entretanto estes teores geralmente são inversamente proporcionais, como verificou Colpani (2018), ao comparar amostras de soja de diversas regiões do Brasil. Ainda neste estudo, é evidenciado que o teor de proteína é inversamente proporcional à produtividade de grãos.

2.3 NÍQUEL NA PLANTA

Dixon et al. (1975) confirmaram a presença do Ni na constituição da urease, Eskew *et al.* (1984) e Brown *et al.* (1987) o incluíram na lista de micronutrientes após o aparecimento de deficiência em cevada (*Hordeum vulgare* L.). É requerido preferencialmente na forma de Ni²⁺ os teores adequados para a soja são de 0,08 - 0,62 nas folhas e 0,39 - 2,09 mg kg⁻¹ nos grãos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2011). Chen *et al.* (2009) mais de 50% do Ni está nas raízes sendo a maior parte retida no cilindro vascular, enquanto na parte aérea está nas paredes celulares, vacúolos e tricomas, associados a quelantes como ácidos orgânicos e proteínas. Possui a capacidade de ser absorvido pelas folhas e acumular-se em tecidos em desenvolvimento (PAGE & FELLER, 2005).

Atua como catalisador da monóxido de carbono (C) desidrogenase, desidrogenase de Ni, metil coenzima M redutase, superóxido dismutase, acetil- coenzima A sintase, RNase-A, Ni-ferro hidrogenase e urease. Desse modo, pode-se afirmar que o Ni tem grande influência no metabolismo vegetal e nos processos de ciclagem de C (KRAJEWSKA, 2009). Alguns dos sintomas de deficiência são: necrose nas folhas, redução do crescimento, senescência foliar precoce, devido ao acúmulo de NH₃ e necrose de regiões meristemáticas, bem como a redução da absorção de Fe. Por outro lado, os sintomas de toxidez incluem: clorose, crescimento reduzido de raízes e parte aérea e deformação em partes da planta (BROWN et al., 1987; DECHEN & NACHTIGAL, 2007).

Rodak (2014) verificou que teores foliares entre 0,3 a 0,8 mg kg⁻¹ em soja potencializou a atividade da urease, conteúdo de clorofila, taxa fotossintética e desenvolvimento de raízes. Moura (2020) obteve incremento no teor de proteína ao utilizar Ni em soja. O mesmo resultado foi verificado por Lopes (2014) ao utilizar Ni e Mo em feijão. Contudo são necessários mais estudos, principalmente do uso concomitante (LEVY, 2013; ANSCHAU, 2021).

2.4 MOLIBDÊNIO NA PLANTA

A essencialidade do Mo foi comprovada em 1939, em tomate, por pesquisadores da Universidade da Califórnia (HIGHLAND *et. al.*, 1939 citado por EPSTEIN & BLOOM, 2006). É absorvido na forma de molibdato (MoO_4^{2-}) e sua mobilidade no floema é classificada como intermediária (MARSCHNER, 2012). Segundo Malavolta (2006), os teores foliares adequados são de 0,6 e 1,0 mg kg^{-1} . É cofator da nitrogenase, GS e GOGAT (TAIZ *et. al.*, 2017). Segundo Toledo *et. al.* (2010) o Mo compõe a nitrato redutase, responsável pela redução de NO_3^- a NO_2^- e deste para NH_4^+ , o qual é incorporado em aminoácidos e proteínas ou utilizado na síntese de lipídeos.

Entretanto em condições de estresse salino as plantas preferem utilizar NO_3^- como fonte de N (BABENKO *et. al.*, 2015). O Mo compõe a aldeído oxidase, responsável pela biossíntese de fitohormônios como o ácido abscísico, produzido em condições de estresse por seca, temperatura e/ou salinidade. A biossíntese de ácido indol-3-acético, pertencente ao grupo das auxinas, também pode ser realizada pela aldeído oxidase. As auxinas são responsáveis pelo alongamento celular e dominância apical, a qual impede o desenvolvimento de gemas axilares, influenciando na arquitetura da planta. Estudos mostram que também tem função importante em casos de estresse por salinidade (FAHAD *et. al.*, 2015; CASSEL, 2021).

Outra enzima constituída de Mo é a xantina desidrogenase, a qual possui papel importante no catabolismo de purinas e na biossíntese de ureídeos. Ocorre hidroxilação da hipoxantina em xantina e ácido úrico, este é oxidado a ureídeos através da urease ou por espécies reativas de oxigênio (EROs) (MENDEL, 2009). Os sintomas de deficiência de Mo são folíolos retorcidos com necrose nas margens, clorose seguida de necrose das folhas mais velhas, induzidas pelo acúmulo de NO_3^- (SFREDO & OLIVEIRA, 2010).

2.5 MOLIBDÊNIO E NÍQUEL NA QUALIDADE DE SEMENTES

A qualidade das sementes está relacionada ao vigor, o qual inclui principalmente a porcentagem de germinação, esta influencia desde o estabelecimento da cultura no campo até a produtividade (RODRIGUES *et. al.*, 2018). Fatores ambientais como temperatura e umidade afetam a qualidade física (tamanho e massa), fisiológica e sanitária das sementes, portanto a escolha do local, cultivar e época de plantio são importantes (DALCIN, 2019). Capelin (2022) verificou que ambientes de elevada altitude proporcionaram sementes com melhor qualidade fisiológica. E que esta correlacionou-se com o conteúdo de proteína.

Como verificado por Zanon (2007) há correlação entre o teor de proteína e a concentração de N na soja. Diante da importância do Mo e Ni no metabolismo do N, pode-se considerar que a aplicação foliar desses micronutrientes podem elevar o teor de proteína e/ou lipídeos e aumentar a qualidade fisiológica das sementes, sem interferir na produtividade (LOPES *et. al.* 2016; FOLETTO, 2016). Trevizani (2022) utilizou Mo, Ni e Co e observou maior eficiência na nutrição nitrogenada, bem como o aumento na produtividade da soja. Cardoso *et al.* (2020) utilizaram Mo nas doses 0, 400 e 800 g ha⁻¹, na fase reprodutiva de cultivares de soja (R₃ e R₅) e observaram resultados positivos sobre germinação e envelhecimento acelerado.

Resultado semelhante foi observado por Barcelos (2016), com aumento na porcentagem de germinação e emergência de plântulas de acordo com a elevação dos teores de Ni via foliar (0, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 g ha⁻¹). Em relação à qualidade física, um fator controverso é o tamanho das sementes, estudos comparando sementes com diâmetro de 6 mm com as de 4 mm, observaram que as maiores apresentaram maior velocidade de germinação e isso impactou nos componentes de produção (PÁDUA *et. al.*, 2010; PICCININ *et. al.*, 2012).

Entretanto, Peripolli *et. al.* (2019) verificaram que sementes de 5 mm originaram plântulas com maior tamanho de radícula, velocidade de germinação e massa de 100 grãos, quando comparada as de 7 mm. Segundo Henning *et al.* (2010), a densidade pode ter influência, uma vez que para a emergência e desenvolvimento das plântulas, são utilizadas as reservas contidas nas sementes. A soja no estágio reprodutivo possui as sementes como principais drenos. Diante disso, a aplicação foliar de Mo e Ni nesse período pode elevar a concentração de lipídeos e/ou proteínas, sem interferir nos componentes de rendimento, bem como aumentar a qualidade fisiológica das sementes.

2.6 MATERIAL E MÉTODOS

2.6.1 Área e Delineamento Experimental

Os experimentos foram realizados em 2 locais com características edafoclimáticas distintas. Sendo o primeiro um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura média, localizado no município de Selvíria/MS, situado nas coordenadas 20°20'53" S e 51°24'02" O. E o segundo em um Latossolo Vermelho Eutroférico típico argiloso, no município de Londrina/PR, nas coordenadas 23°23'30" S e 51°11'05" O (EMBRAPA, 2018). Os atributos dos solos antes da instalação dos experimentos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos dos solos antes da instalação dos experimentos.

Atributos	Londrina, PR	Selvília, MS
pH (CaCl ₂)	4,4	5,3
MO, g dm ⁻³	22,5	20,0
P, mg dm ⁻³	23,4	29,0
K ⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,0	0,2
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	4,5	2,5
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,7	1,6
Al ³⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,3	0,0
H+Al, cmol _c dm ⁻³	6,5	2,5
CTC, cmol _c dm ⁻³	13,7	6,9
V, %	52,2	64,0
S-SO ₄ ²⁻ , mg dm ⁻³	8,4	2,0
B, mg dm ⁻³	0,5	0,2
Cu, mg dm ⁻³	8,4	1,8
Fe, mg dm ⁻³	112,0	20,0
Mn, mg dm ⁻³	43,2	21,7
Zn, mg dm ⁻³	8,1	0,8
Argila, g kg ⁻¹	757,0	378,0
Areia, g kg ⁻¹	51,0	574,0

CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação por bases $[(\Sigma K, Ca, Mg/\Sigma K, Ca, Mg, H+Al)/100]$

Fonte: Embrapa, 1997.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4 × 3, com 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1200 g ha⁻¹) e 3 de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹) e 4 repetições. As parcelas foram de 8 × 4 m, sendo consideradas as linhas centrais como a área útil de cada parcela, o espaçamento entrelinhas foi de 0,50 m. No experimento de Londrina, 30 antes do plantio foi aplicado calcário para elevar a saturação por bases (V) a 60%, enquanto no de Selvíria não foi necessário (IAC, 2014; MOREIRA *et al.*, 2019).

Antes do plantio as sementes foram previamente tratadas com fungicida e inoculadas com inoculante líquido contendo estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. Posteriormente, a semeadura foi realizada com 13 sementes por metro linear e a adubação foi feita de acordo as recomendações de Moreira *et al.* (2019) para Londrina e de acordo com o IAC (2014) para Selvíria. As cultivares de hábito de crescimento indeterminado foram a M5947 IPRO em Londrina, BMX Desafio RR e TMG 7063 IPRO em Selvíria.

O fornecimento de Mo (produto com 15% de Mo e densidade de 1,32 g L⁻¹) e Ni (cloreto de Ni anidro com 43,5% de Ni) foram realizadas no período da tarde, horário de menor ocorrência de ventos. Os tratos fitossanitários em todo ciclo foram realizados de acordo com a Embrapa (2011).

2.6.2 Avaliações

2.6.2.1 Componentes de rendimento

Antes da colheita, no estágio reprodutivo 8.1, foram coletadas 20 plantas de cada parcela, ao acaso, para determinação do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), relação NGP/NVP, altura (H) e número de hastes (NH). Posteriormente, as parcelas foram colhidas e quantificada produção de grãos (PG), com a pesagem da área útil de cada parcela e os dados transformados em kg ha⁻¹. Foi determinada a massa de 100 grãos (umidade de 13%, base úmida), teores de óleo e proteína (FEHR *et al.*, 1971; MAPA, 2009; HEIL, 2010)

2.6.2.2 Qualidade de sementes

As sementes foram classificadas de acordo com a tamanho das peneiras: $\geq 4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$, $= 4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ (MAPA, 2009). Após a separação por tamanho, foram homogeneizadas e determinado o teor total de N conforme metodologia descrita em Malavolta *et al.* (1997). Para determinação do vigor, foram separadas de acordo com o grau de umidade (10, 12 e 14%), cultivar e tamanho de peneira (MAPA, 2009).

O teste de germinação foi realizado de acordo com as regras para análise de sementes. Para o percentual médio de germinação, os valores de plântulas normais das 4 subamostras foram somados e dividido por 2 (MAPA, 2009). Para os testes de comprimento de plântulas, emissão de radícula e envelhecimento acelerado, foram utilizadas as metodologias descritas por Krzyzanowski *et al.* (2020) e Leite *et al.* (2019).

2.6.2.3 Análise estatística

Após a checagem da independência e normalidade dos erros, homogeneidade da variância dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F, regressão e comparação de médias pelo teste de Scott-Knott, ambos a 5% de probabilidade.

2.7 REFERÊNCIAS

- ANSCHAU, D. C. **Inoculação, coinoculação e aplicação foliar de molibdênio e cobalto na cultura da soja**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, p.40, 2021.
- BABENKO, O. N.; BRYCHKOVA, G.; SAGI, M.; ALIKULOV, Z. A. Molybdenum application enhances adaptation of crested wheatgrass to salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 14, 2015.
- BARCELOS, J. P. Q. **Níquel no controle do oídio (*Erysiphe diffusa*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho.” Ilha Solteira. 155p. 2016.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v.85, n.3, p.801-803. 1987.
- CAPELIN, M. A. **Ambiente de cultivo, composição química, potencial fisiológico e armazenamento de sementes de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, p.95. 2022.
- CARDOSO, B. M. *et al.* Effect of foliar molybdenum application on seed quality of soybean cultivars. **Communications in Soil Science and Plants Analysis**, v.52, p.666-672. 2020.
- CASSEL, J. L. ROTHER, G. M. PIMENTA, B. D. SANTOS, D. B. Ação da auxina sobre plantas de soja. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.3. 2021.
- CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions, and toxicity of nickel in plants: recent advances and prospects. **Clean**, v.37, n.4-5, p.304-313. 2009.
- COLPANI, G. S. **Estudo comparativo de amostras de soja de diferentes regiões do Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro de 2018.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4234-ultimo-levantamento-da-safra-2020-21-confirma-reducao-na-producao-de-graos>. Acesso em: outubro de 2021.
- DALCIN, F. N. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja produzidas em diferentes épocas de semeadura em terras baixas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal do Pampa. Itaquí, p.39. 2019.
- DALL’AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. 1ed. Londrina: Embrapa Soja, 2016.
- DECHEN, A. R. NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. 1ed. Viçosa: Tradução, 2007. p.91-132.
- DIXON, N. E.; GAZOLA, C.; BLAKELEY, R. L., ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v.97, n.14, p.4131-4133. 1975.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ªed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja na região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 263p. 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Fixação Biológica de Nitrogênio**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355008/0/Folder+tecnologia+FBN/72690c5d-c076-4f9f-b48a-7f6ebec0183d>. Acesso em: outubro de 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **O novo mapa de solos do Brasil**. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. p.67.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ªed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.
- ESKEW, D. L. WELCH, R. M., NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, v.76, n.3, p.691-693. 1984.
- FAHAD, S. et. al. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. **Plant Growth Regulation**, v.75, n.2, p.391-404. 2015.
- FEHR, W. R., C. E. CAVINESS, D. T. BURMOOD, J. S. PENNINGTON. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v.11, n.6. p.929–931. 1971.
- FERREIRA, A. G. et. al. Desempenho agrônômico de cultivares de soja em função de diferentes métodos de aplicação de cobalto e molibdênio. **Cultivando o saber**, v.11, n.2, p.11-19. 2018.
- FOLETTI, V. **Suplementação nutricional e qualidade fisiológica de sementes de soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, p.29. 2016.
- HEIL, C. Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy. **Thermo Fisher Scientific**, Madison, 3p. 2010.
- HENNING, F. A. et al. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.
- HIRAKURI, M. H. O contexto econômico da produção de soja. In: HENNING, A. A. et. al. **Tecnologias de produção de soja**. 1ªed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p.15-31.
- IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim 200 Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7ªed. Campinas: IAC, 2014.
- KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4ª ed. New York: CRC Press, Taylor e Francis Group, 2011. p.516.
- KRAJEWSKA, B. Ureasas I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic**, v.59, p.9-21. July, 2009.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020. 601 p.
- LEITE, C. A. M., J. B. FRANÇA-NETO, F. C. KRZYZANOWSKI, F. G. GOMES JÚNIOR. **Validação do sistema de análise de imagens Vigor-S para a determinação de fitotoxidades em plântulas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, Abrates. 2018.
- LEVY, C. C. B. **Níquel em soja: doses e formas de aplicação**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, p.110. 2013.

- LOPES, J. F. et al. Produtividade e composição mineral do Feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. **Revista Ceres**, v.63, n.3. 2016.
- LOPES, J. F.; COELHO, F.C.; RANGEL, O. J. P.; RABELLO, W. S.; GRAVINA, G. A.; VIEIRA, H. D. Adubação foliar com níquel e molibdênio no feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. **Revista Ceres**, v.61, n.2, abril de 2014.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. **Níquel – de tóxico a essencial**. Disponível em: http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/niquel_essencial.pdf. Acesso em: outubro de 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 1ed. 2009. 398p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3ed. Academic Press, 649 p. 2012.
- MENDEL, R. R. Cell biology of molybdenum. **Biofactors**, v. 35, p. 429-434. 2009.
- MOREIRA, A. et al. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019.
- MOURA, M. J. A. **Métodos de aplicação de níquel e seus efeitos sobre as características agrônômicas e teor de proteína da soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, p. 45. 2021.
- OLIVEIRA, C. O. et. al. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v.64, n.3, p.282-290. 2017.
- PÁDUA, G. P.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E. & FRANÇA NETO, J. B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de sementes**, v.32, n.3, p.9-16. 2010.
- PAGE, V.; FELLER, U. Selective transport of zinc, manganese, nickel, cobalt and cadmium in the root system and transfer to the leaves in young wheat. **Annals of Botany**. Oxford: Oxford University Press, v.96, p.425-434. 2005.
- PERIPOLLI, M. *et al.* Qualidade Fisiológica de sementes de soja provenientes de dois tamanhos de peneira. **Revista Vivências**, v.15, n.29, p.267-277. 2019.
- PICCININ, G. G.; DAN, L. G. M.; RICCI, T. T.; BRACCINI, A. L.; BARBOSA, M. C.; MOREANO, T. B.; HORVATHY NETO, A. & BAZO, G. L. Relação entre o tamanho e a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja. **Revista Agrarian**, v.5, n.15, p. 20-28. 2012.
- REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agrônômicas**, n.147, p.10-24, setembro de 2014.
- RODAK, B. W.; **Níquel em solos e na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p.101. 2014.

RODRIGUES, D. DA S.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO, G. E. & PESKE, S. T. Desempenho de plantas de soja em função do vigor das sementes e do estresse hídrico. **Revista Científica Rural**, v.20, n.2, p.144-158. 2018.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: Molibdênio e Cobalto**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf>. Acesso em: outubro de 2021.

SILVA, I. H. F., BRAGA, F. C. S. Análise dos depósitos de lateritas níquelíferas do Brasil a partir do conceito de sistemas minerais holísticos. **Estudos geológicos**, Minas Gerais, v.30, n.1, p.79-99, dezembro 2020.

TAIZ, L. ZEIGER, E. MOLLER, I. M., MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOLEDO, M. Z. *et. al.* Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. **Bioscience Journal**, v.26, n.6. 2010.

TREVIZANI, T. **Aplicação de molibdênio combinada com cobalto e níquel no tratamento de sementes de soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2022.

WERNER, H. A. *et. al.* Physiological quality of soybean (*Glycyne max* L. Merrill) seeds treated with micronutrients. **Research, Society and Development**, v.9, n.9, p.1-13. 2020.

ZANON, G. D. **Teor de proteína e de óleo em grãos de soja obtidos sob diferentes tipos de manejo**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados. Mato Grosso do Sul, 62p. 2007.

2.8 RESULTADOS

Foram divididos em 2 artigos: a) Molibdênio e níquel nos componentes de rendimento, concentração de óleo e proteína em cultivares de soja e b) Qualidade fisiológica de sementes de soja em resposta ao molibdênio e níquel em duas condições edafoclimáticas.

2.8.1 Molibdênio e Níquel nos Componentes de Rendimento, Concentração de Óleo e Proteína da Soja

Bruna M. Cardoso¹, Larissa S. Dameto¹, Jorge J. Delfim¹, Larissa A. C. Moraes², Edson Lazarini³, Adônis Moreira²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ²Departamento de nutrição mineral de plantas, Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ³Departamento de Fitotecnia, Engenharia de Alimentos e Sócio Economia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, Estado de São Paulo, Brasil.

Diante da importância do molibdênio (Mo) e níquel (Ni) para a assimilação do nitrogênio (N), o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar desses micronutrientes no estágio reprodutivo (R₃ e R₅) da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e seus efeitos nos componentes de rendimento, teores de proteína e lipídeo. O delineamento foi em blocos ao acaso em fatorial com 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1600 g ha⁻¹) e 3 doses de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹) com 4 repetições. A cultivar M 5647 IPRO foi utilizada em Londrina/PR em sistema plantio direto, sem irrigação. E em Selvíria/MS utilizou-se a TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR, em sistema convencional, irrigadas por pivot central. Houve interação da aplicação foliar de Mo e Ni para a produtividade de PG, entretanto somente a aplicação Mo aumentou o teor e conteúdo de proteína. A altura (H), o número de grãos por planta (NGP) e número de vagens por planta (NVP) na TMG 7063 IPRO apresentou efeito das doses de Mo e interação Mo × Ni. Os resultados demonstraram potencial de uso a aplicação foliar de Mo e Ni sobre a qualidade e produção de grãos da soja.

Palavras-chave: (*Glycine max* (L.) Merrill). Micronutrientes. Nitrogênio. Produtividade.

2.8.1.2 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das leguminosas mais cultivadas no mundo e é um dos principais produtos agrícolas exportados pelo Brasil. O principal fator para seu cultivo é o seu elevado teor de proteína, o qual é utilizado principalmente para alimentação animal na forma de farelo. Além disso, contém lipídeos, oligossacarídeos e isoflavonas, importantes para nutrição humana (SILVA *et al.*, 2016; EMBRAPA, 2014; IBÁÑEZ *et al.*, 2021). O molibdênio (Mo) e o níquel (Ni) possuem funções importantes no metabolismo como cofatores enzimáticos no processo de assimilação de nitrogênio (N).

Em leguminosas, o N é transportado principalmente na forma de ureídeos, através da fixação biológica de N (FBN), os quais são hidrolisados em gás carbônico (CO₂) e amônio (NH⁴⁺) por uma enzima constituída de Ni, denominada urease (MOURA, 2020). O NH⁴⁺ é incorporado em aminoácidos ou utilizado para biosíntese de lipídeos. A assimilação de NH⁴⁺ pode ocorrer através de duas enzimas constituídas de Mo, a glutamina sintetase (GS) e glutamato sintetase (GOGAT). Entretanto, em condições de estresse, o N é absorvido preferencialmente forma de nitrato (NO³⁻), este é reduzido a nitrito (NO²⁻) e em NH⁴⁺ pela redutase do nitrato, a qual também possui Mo na sua composição (BABENKO, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

Entretanto, a correlação dos teores de proteínas e lipídeos é frequentemente negativa e estes são, muitas vezes, inversamente proporcionais a produtividade (COLPANI, 2018). Isto ocorre, pois suas rotas de síntese estão interligadas, além disso, o N pode ser utilizado para outras funções no metabolismo, como para a formação dos tecidos e síntese de fitohormônios (TAIZ *et al.*, 2017). Para aumentar o potencial de rendimento por área, a aplicação de nutrientes nas folhas, quando feita de forma adequada, além de corrigir possíveis deficiências nutricionais, pode ser uma ferramenta importante para aumentar a qualidade dos grãos (FAGÉRIA, 2009a; FERNÁNDEZ *et al.*, 2013).

Se a pulverização foliar for realizada no início da formação das vagens, existe maior possibilidade de remobilização para os órgãos reprodutivos, visto que os grãos são os principais drenos (VIEIRA *et al.*, 2009; TAIZ *et al.*, 2017). Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da aplicação foliar de Mo e Ni, em estágio reprodutivo, nos componentes de rendimento de cultivares de soja, em duas condições de manejo.

2.8.1.3 Desenvolvimento

2.8.1.3.1 Áreas e delineamento experimental

Os experimentos foram realizados em 2 locais com características edafoclimáticas distintas. Sendo o primeiro um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura média, localizado no município de Selvíria/MS, situado nas coordenadas 20°20'53" S e 51°24'02" O. E o segundo em um Latossolo Vermelho Eutroférico típico argiloso, no município de Londrina/PR, nas coordenadas 23°23'30" S e 51°11'05" O (EMBRAPA, 2018). Os atributos dos solos antes da instalação dos experimentos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos químicos do solo antes da instalação dos experimentos.

Atributos	Londrina, PR	Selvíria, MS
pH (CaCl ₂)	4,4	5,3
MO, g dm ⁻³	22,5	20,0
P, mg dm ⁻³	23,4	29,0
K ⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,0	0,2
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	4,5	2,5
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,7	1,6
Al ³⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,3	0,0
H+Al, cmol _c dm ⁻³	6,5	2,5
CTC, cmol _c dm ⁻³	13,7	6,9
V, %	52,2	64,0
S-SO ₄ ²⁻ , mg dm ⁻³	8,4	2,0
B, mg dm ⁻³	0,5	0,2
Cu, mg dm ⁻³	8,4	1,8
Fe, mg dm ⁻³	112,0	20,0
Mn, mg dm ⁻³	43,2	21,7
Zn, mg dm ⁻³	8,1	0,8
Argila, g kg ⁻¹	757,0	378,0
Areia, g kg ⁻¹	51,0	574,0

CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação por bases [(ΣK, Ca, Mg/ΣK, Ca, Mg, H+Al)/100]

Fonte: Embrapa, 1997.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4 × 3, com 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1200 g ha⁻¹) e 3 de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹) e 4 repetições. As parcelas foram de 8 × 4 m, sendo consideradas as linhas centrais como a área útil de cada parcela, o espaçamento entrelinhas foi de 0,50 m. No experimento de Londrina, 30 dias antes do plantio foi aplicado calcário (Mg > 13%) para elevar a saturação por bases (V) a 60%, enquanto no de Selvíria não foi necessário (IAC, 2014; MOREIRA *et al.*, 2019).

Antes do plantio as sementes foram previamente tratadas com fungicida e inoculadas com inoculante líquido contendo estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. Posteriormente, a semeadura foi realizada com 13 sementes por metro linear e a adubação foi feita de acordo as recomendações de Moreira *et. al.* (2019) para Londrina e de acordo com o IAC (2014) para Selvíria. As cultivares de hábito de crescimento indeterminado foram a M5947 IPRO em Londrina, BMX Desafio RR e TMG 7063 IPRO em Selvíria.

O fornecimento de Mo (produto com 15% de Mo e densidade de 1,32 g L⁻¹) e Ni (cloreto de Ni anidro com 43,5% de Ni) foram realizadas no período da tarde, horário com menor ocorrência de ventos. Os tratos fitossanitários em todo ciclo foram realizados de acordo com a Embrapa (2011).

2.8.1.3.2 Avaliações

Antes da colheita, no estágio reprodutivo 8.1, foram coletadas 20 plantas de cada parcela, ao acaso, para determinação do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), relação NGP/NVP, altura (H) e número de hastes (NH). Posteriormente, as parcelas foram colhidas e quantificada produção de grãos (PG), com a pesagem da área útil de cada parcela e os dados transformados em kg ha⁻¹. Foi determinada a massa de 100 grãos (umidade de 13%, base úmida), teores de óleo e proteína (FEHR *et al.*, 1971; MAPA, 2009; HEIL, 2010).

2.8.1.3.3 Análise estatística

Os dados de cada cultivar e as médias foram submetidas ao teste de normalidade e posteriormente à análise de variância conjunta (ANOVA) e, na presença de interação significativa dos tratamentos (Mo x Ni), foram realizados os desdobramentos necessários. As médias das doses de Ni foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e análise de regressão para as doses de Mo, em nível de 5% de probabilidade, considerando, para tanto, efeito significativo na ANOVA. Devido à diferença de manejo adotado nos 2 locais, não foi analisada a diferença entre as cultivares. Foram realizadas análises de correlação simples entre a PG e os componentes de rendimento, visando determinar o grau de associação entre as variáveis avaliadas.

2.8.1.3.4 Resultados e discussão

Tabela 3. Correlações da produção de grãos (PG) com os componentes de rendimento, teores de óleo e proteína nos grãos. Safra 2019/20.

Correlações	Equações	R
Londrina (PR) – M 5947 IPRO		
PG × Número de vagens por planta (NVP)	$\hat{y} = 0,180 + 0,022x$	0,48*
PG × Número de grãos por planta (NGP)	$\hat{y} = 28,874 + 0,060x$	0,38*
PG × NVP/NGP	$\hat{y} = 2,10 \pm 0,24$	0,10 ^{NS}
PG × Altura das Plantas (H)	$\hat{y} = 29,493 + 0,009x$	0,40*
PG × Número de hastes (NH)	$\hat{y} = 2,67 \pm 0,82$	0,11 ^{NS}
PG × Massa de 100 grãos	$\hat{y} = 9,761 + 0,001x$	0,56*
PG × Teor de óleo	$\hat{y} = 24,77 \pm 0,92$	0,23 ^{NS}
PG × Teor de proteína	$\hat{y} = 37,19 \pm 1,06$	0,11 ^{NS}
Selvíria (MS) – TMG 7063 IPRO		
PG × Número de vagens por planta (NVP)	$\hat{y} = 11,182 + 0,016x$	0,49*
PG × Número de grãos por planta (NGP)	$\hat{y} = 3,072 + 0,032x$	0,40*
PG × NVP/NGP	$\hat{y} = 2,89 \pm 0,18$	0,10 ^{NS}
PG × Altura das Plantas (H)	$\hat{y} = 102,35 \pm 6,33$	0,19 ^{NS}
PG × Número de hastes (NH)	$\hat{y} = 3,49 \pm 0,44$	0,07 ^{NS}
PG × Massa de 100 grãos	$\hat{y} = 12,96 \pm 1,30$	0,28 ^{NS}
PG × Teor de óleo	$\hat{y} = 23,01 \pm 0,88$	0,04 ^{NS}
PG × Teor de proteína	$\hat{y} = 36,55 \pm 0,91$	0,05 ^{NS}
Selvíria (MS) – BMX Desafio RR		
PG × Número de vagens por planta (NVP)	$\hat{y} = 5,392 + 0,011x$	0,53*
PG × Número de grãos por planta (NGP)	$\hat{y} = 24,334 + 0,040x$	0,48*
PG × NVP/NGP	$\hat{y} = 2,59 \pm 0,14$	0,16 ^{NS}
PG × Altura das Plantas (H)	$\hat{y} = 116,87 \pm 4,40$	0,08 ^{NS}
PG × Número de hastes (NH)	$\hat{y} = 2,85 \pm 0,41$	0,26 ^{NS}
PG × Massa de 100 grãos	$\hat{y} = 14,881 + 0,001x$	0,40*
PG × Teor de óleo	$\hat{y} = 22,58 \pm 0,89$	0,10 ^{NS}
PG × Teor de proteína	$\hat{y} = 35,15 \pm 1,34$	0,06 ^{NS}
Média das três cultivares		
PG × Número de vagens por planta (NVP)	$\hat{y} = 9,574 + 0,019x$	0,51*
PG × Número de grãos por planta (NGP)	$\hat{y} = 20,920 + 0,033x$	0,33 ^{NS}
PG × NVP/NGP	$\hat{y} = 3,00 \pm 0,16$	0,22 ^{NS}
PG × Altura das Plantas (H)	$\hat{y} = 77,56 \pm 4,48$	0,28 ^{NS}
PG × Número de hastes (NH)	$\hat{y} = 3,69 \pm 0,53$	0,03 ^{NS}
PG × Massa de 100 grãos	$\hat{y} = 10,476 + 0,002x$	0,50*
PG × Teor de óleo	$\hat{y} = 23,59 \pm 0,68$	0,10 ^{NS}
PG × Teor de proteína	$\hat{y} = 35,23 \pm 0,69$	0,15 ^{NS}

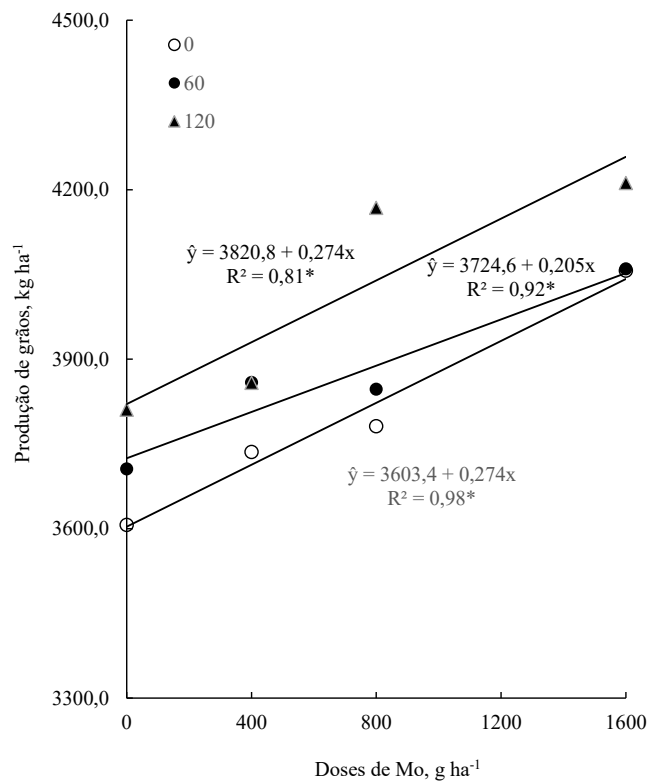
*Significativo e NS não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Aplicação de Mo e Ni apresentou interação significativa para produtividade de grãos (PG), com aplicação de 1600 g ha⁻¹ de Mo e 120 g ha⁻¹ de Ni na TMG 7063 IPRO (Figura 1), 800 e 1600 g ha⁻¹ de Mo e na ausência de Ni, nas cultivares M 5947 IPRO (Figura 2) e BMX Desafio RR (Figura 3), respectivamente. O efeito positivo de ambos pode estar relacionado à otimização do uso do N, uma vez que exercem papel fundamental no processo de assimilação e incorporação em compostos orgânicos (LOPES, 2016; TAIZ *et. al.*, 2017). O efeito negativo do Ni possivelmente ocorreu devido à sensibilidade das cultivares M 5947 IPRO

e BMX Desafio RR, visto que podem ser eficientes e responsivas e não eficientes e responsivas a um dado nutriente (FAGERIA *et al.*, 2011). Alovisei *et al.* (2011) também não obteve incremento na PG da soja com aplicação foliar de Ni.

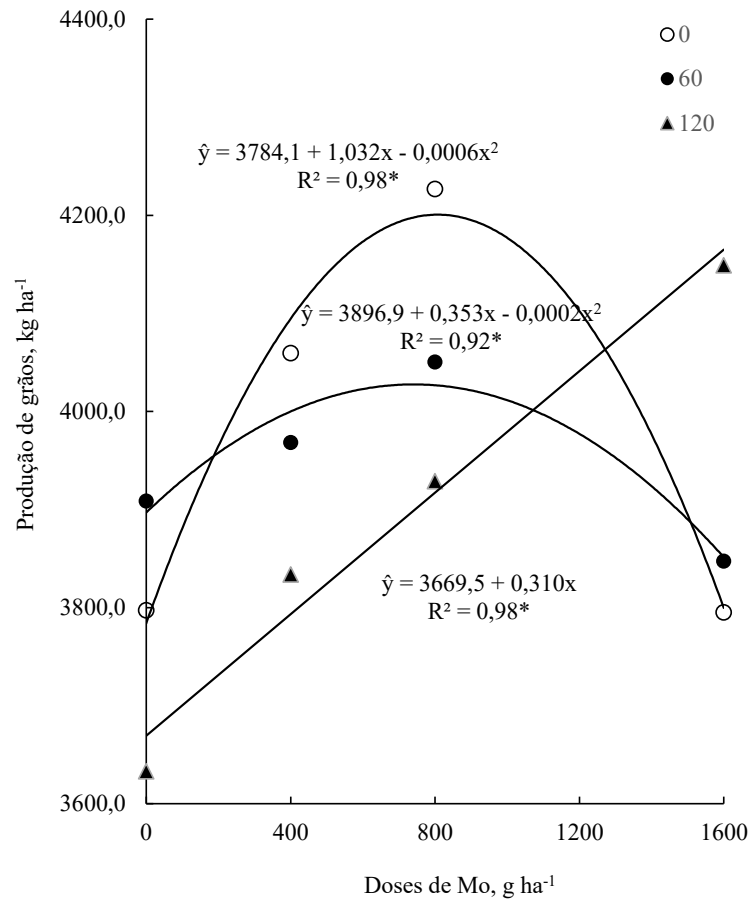
Figura 1: Produção de grãos sobre doses de molibdênio dentro de cada dose de níquel, com destaque para TMG 7063 IPRO cultivada em Selvíria/MS. Safra 2019/20.



*significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

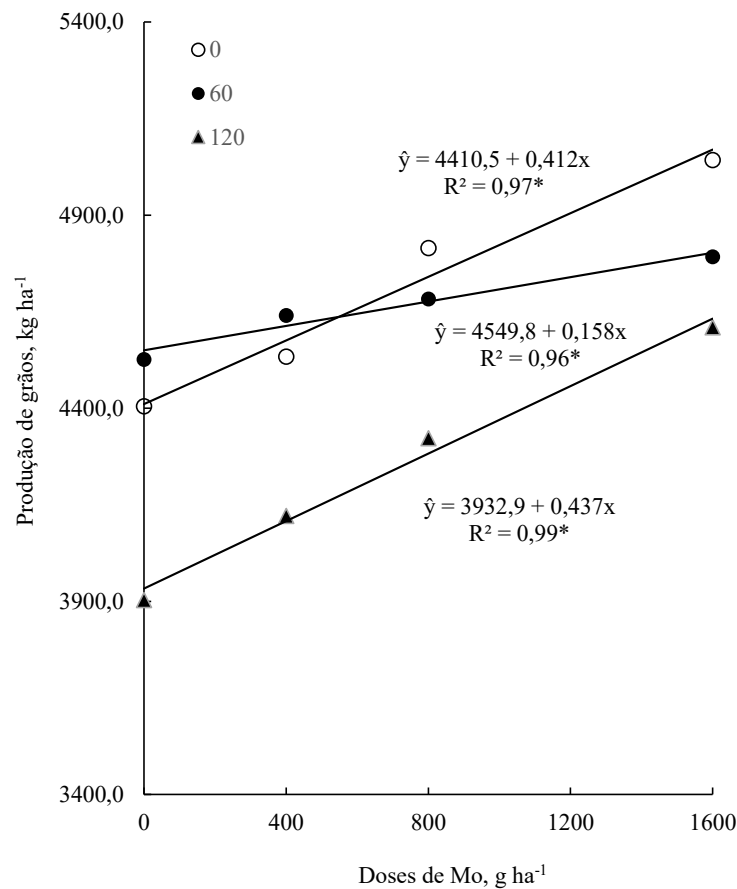
Figura 2: Produtividade de grãos sobre doses de molibdênio dentro de cada dose de níquel, com destaque para M 5947 IPRO cultivada em Londrina/PR. Safra 2019/20.



* significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

Figura 3: Produtividade de grãos sobre doses de molibdênio dentro de cada dose de níquel, com destaque para BMX Desafio RR cultivada em Selvíria/MS. Safra 2019/20.



*significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: próprio autor.

O Mo é cofator de enzimas que assimilam o N tanto na forma de NO_3^- , quanto na forma de NH_4^+ , além de estar relacionado à biossíntese de ureídeos, bem como na produção de fitohormônios, como o ácido abscísico (ABA) e o ácido indol-3-acético (AIA). Este possui influência no crescimento de raízes adventícias, dominância apical e assim como o ABA, permite o desenvolvimento em condições desfavoráveis (NEGRI, 2015; FAHAD, 2015). O

incremento da PG das cultivares M 5947 e BMX Desafio RR com 800 g ha⁻¹ de Mo pode ter aumentado a atividade dessas enzimas, melhorando o desempenho em condições de campo. Oliveira (2021) observou incremento na PG através da aplicação foliar de Mo, que aumentou as atividades da nitrato redutase e da rubisco, melhorando o metabolismo do N e fixação do carbono na soja.

Independentemente da cultivar, a PG correlacionou com o NVP, NGP e massa de 100 grãos (Tabela 3). Entretanto, para a massa de 100 grãos e H somente o Mo teve influência (tabela 5). Horn (2022) observou correlação do NGP e massa de mil grãos da soja, contudo o NVP foi inversamente proporcional a massa de grãos. Em determinada fase do estágio reprodutivo da soja (R_{5.3}), as vagens deixam de ser os principais drenos e os fotoassimilados são redirecionados para o enchimento dos grãos (TAIZ *et. al.*, 2017; LAPERA *et. al.*, 2018). Além disso, a massa do grão varia de acordo com seu tamanho e a densidade, os quais têm relação com fatores genéticos (LAPERA *et. al.*, 2018; HENNING, 2010).

Tabela 4. Componentes de produção em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni) na soja cultivada em Londrina - PR (M 5947 IPRO) e Selvíria - MS (TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR), na safra 2019/20.

Mo g ha ⁻¹	Vagens (n)	Grãos (n)	Grãos/Vagens (n)	Altura (cm)	Hastes (n)	100 grãos (g)
M 5947 IPRO, Londrina/PR						
0	79,5a	192,4a	2,4a	63,4a	3,8a	13,8a
400	82,3a	202,7a	2,5a	64,0a	3,8a	14,2a
800	85,2a	208,3a	2,5a	64,4a	3,6a	14,4a
1600	85,1a	208,6a	2,5a	63,1a	3,8a	14,3a
Ni (g ha ⁻¹)						
0	87,1a	212,3a	2,4a	64,0a	3,8a	14,2a
60	83,4a	205,6a	2,5a	64,2a	3,8a	14,1a
120	79,0a	191,1a	2,4a	63,1a	3,7a	14,1a
Média	83,2	203,0	2,4	63,8	3,8	14,1
ANOVA						
A						
Mo	0,22 ^{NS}	0,30 ^{NS}	1,25 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,23 ^{NS}	1,75 ^{NS}
Ni	0,73 ^{NS}	0,85 ^{NS}	1,01 ^{NS}	0,54 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,60 ^{NS}
Mo × Ni	1,03 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,18 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,52 ^{NS}
CV (%)	12,63	12,96	15,5	18,16	17,65	15,14
TMG 7063 IPRO, Selvíria/MS						
0	46,4	110,9	2,4	112,9	3,6	17,9
400	49,9	118,0	2,4	118,3	3,8	18,2
800	57,4	141,1	2,5	119,8	4,0	18,4
1600	46,8	112,7	2,4	118,9	4,2	16,8

Ni (g ha ⁻¹) ¹⁾						
0	52,0a	125,7a	2,4a	117,7a	3,9a	18,3a
60	52,9a	126,6a	2,4a	119,5a	4,0a	17,7a
120	45,6b	109,8b	2,4a	115,2b	3,8a	17,5a
Média	50,2	120,7	2,4	117,5	3,9	17,8
ANOVA						
A						
Mo	5,36*	5,77*	1,02 ^{NS}	3,69*	10,30*	5,04*
Ni	3,05*	3,54*	0,39 ^{NS}	3,29*	1,10 ^{NS}	2,40 ^{NS}
Mo × Ni	3,94*	3,75*	0,75 ^{NS}	2,91*	0,77 ^{NS}	0,55 ^{NS}
CV (%)	16,45	16,66	6,28	4,64	10,73	6,21
BMX Desafio RR, Selvíria/MS						
0	54,0	130,6	2,4	114,6	3,8	16,8
400	56,2	130,5	2,3	113,3	3,8	17,0
800	51,6	126,5	2,5	113,4	3,9	17,2
1600	55,6	135,0	2,4	113,0	4,0	17,4
Ni (g ha ⁻¹) ¹⁾						
0	57,1a	136,0a	2,4a	115,2a	4,0a	17,2a
60	58,0a	131,0a	2,4a	112,6a	3,8a	17,2a
120	52,0a	125,0a	2,4a	113,0a	3,9a	17,1a
Média	54,4	130,7	2,4	113,6	3,9	17,2
ANOVA						
A						
Mo	0,53 ^{NS}	0,27 ^{NS}	2,94 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,68 ^{NS}	2,34 ^{NS}
Ni	1,07 ^{NS}	0,94 ^{NS}	1,35 ^{NS}	1,69 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,24 ^{NS}
Mo × Ni	1,15 ^{NS}	1,52 ^{NS}	0,92 ^{NS}	1,70 ^{NS}	0,94 ^{NS}	2,77 ^{NS}
CV (%)	18,13	17,48	4,57	3,74	10,89	3,25

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

Tabela 5. Componentes de produção em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Média das três cultivares de soja, M 5947 IPRO cultivada em Londrina - PR, TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR cultivadas em Selvíria - MS (safra 2019/2020).

Mo g ha ⁻¹	Vagens (n)	Grãos (n)	Grãos/Vagens (n)	Altura (cm)	Hastes (n)	100 grãos (g)
0	60,0	144,6	2,4	96,9	3,7	16,2
400	62,8	150,4	2,4	98,5	3,8	16,5
800	64,7	158,6	2,5	99,2	3,8	16,7
1600	62,5	152,1	2,4	98,3	4,0	16,1
Ni (g ha ⁻¹)						
0	65,4a	158,0a	2,4a	99,0a	3,9a	16,6a
60	58,9a	154,4a	2,4a	98,8a	3,9a	16,3a
120	60,4a	141,9a	2,4a	97,1a	3,8a	16,2a
Média	61,6	151,4	2,4	98,3	3,9	16,4
ANOVA						
Mo	1,46 ^{NS}	2,11 ^{NS}	0,82 ^{NS}	3,46*	0,84 ^{NS}	4,86*
Ni	1,61 ^{NS}	1,42 ^{NS}	0,39 ^{NS}	2,64 ^{NS}	0,45 ^{NS}	2,96 ^{NS}

Mo × Ni	1,20 ^{NS}	1,21 ^{NS}	0,54 ^{NS}	1,35 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,64 ^{NS}
CV (%)	14,29	14,56	4,37	4,00	14,24	4,47

* significativo e ^{NS} não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

A TMG 7063 IPRO foi responsiva a interação Mo x Ni para o NVP, NGP e H. Os micronutrientes de forma isolada também influenciaram positivamente nessas variáveis. Santos (2021) observou resultados semelhantes na mesma cultivar e município do experimento, quando utilizou Mo e Co via foliar, ao comparar doses e épocas de aplicação, obteve maior comprimento de raízes e altura de plantas com o suprimento no início do estágio reprodutivo (V₄₋₆). A fase de enchimento de grãos demanda alta concentração de N, que pode não ser totalmente suprida pela FBN, uma vez que a partir desse estágio (R5), ocorre decréscimo na taxa de fixação (NEUMAIER *et. al.*, 2000; LAPERA *et. al.*, 2018).

Kochenborger *et. al.* (2023) utilizaram Ni + ureia + sacarose foliar em R_{5.1} e observaram incremento na produtividade da soja (NGP e NVP). Os teores de óleo e proteína nos grãos não foram influenciados pela interação Mo × Ni dentro de cada cultivar (Tabela 6). Porém na média dos tratamentos houve incremento nos teores (em kg ha⁻¹) em função dos micronutrientes isolados (tabela 7). A BMX Desafio RR e a TMG 7063 IPRO responderam de maneira positiva ao Ni, diferentemente da M 5947 IPRO, que foi influenciada apenas pelo Mo.

Tabela 6. Teor e conteúdo de óleo e proteína nos grãos em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni) na soja cultivada nos municípios de Londrina, Estado do Paraná (M 5947 IPRO) e Ilha Solteira, Estado de São Paulo (TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR).

Mo g ha ⁻¹	Óleo (%)	Proteína (%)	Óleo (kg ha ⁻¹)	Proteína (kg ha ⁻¹)
M 5947 IPRO, Londrina/PR				
0	21,8	36,2	824,7	1386,1
400	21,5	37,6	847,9	1510,7
800	21,1	37,7	876,8	1539,7
1600	20,8	38,2	819,0	1500,6
Ni (g ha ⁻¹)				
0	21,2a	37,7a	835,2a	1504,2a
60	21,4a	37,4a	846,6a	1480,0a
120	21,6a	37,2a	844,6a	1468,6a
Média	21,4	37,4	842,1	1484,3
ANOVA				
Mo	0,41 ^{NS}	1,98 ^{NS}	2,98*	6,96*
Ni	1,84 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,68 ^{NS}
Mo × Ni	0,94 ^{NS}	0,41 ^{NS}	1,20 ^{NS}	1,76 ^{NS}

CV (%)	15,30	15,23	6,27	5,97
TMG 7063 IPRO, Selvíria/MS				
0	22,4	36,4	861,0	1369,4
400	22,9	36,4	843,1	1396,2
800	22,9	37,1	901,1	1457,1
1600	23,2	37,1	954,0	1498,5
Ni (g ha ⁻¹)				
0	22,7a	36,7a	858,9b	1394,4
60	22,8a	36,9a	884,0ab	1426,3
120	23,1a	36,6a	926,5a	1470,2
Média	22,9	36,7	889,8	1430,3
ANOVA				
Mo	1,64 ^{NS}	1,81 ^{NS}	6,30*	2,96*
Ni	0,92 ^{NS}	0,23 ^{NS}	4,05*	1,68 ^{NS}
Mo × Ni	0,33 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,29 ^{NS}
CV (%)	4,00	2,50	7,69	8,22
BMX Desafio RR, Selvíria/MS				
0	22,6	35,2	974,8	1520,5
400	22,1	36,2	970,3	1588,1
800	22,1	36,4	1018,0	1672,7
1600	22,4	35,5	1078,2	1735,0
Ni (g ha ⁻¹)				
0	22,4a	35,7a	1052,0a	1680,5a
60	22,4a	35,8a	1029,4ab	1690,2a
120	22,1a	36,3a	949,6b	1516,5b
Média	22,3	35,9	1010,3	1629,1
ANOVA				
Mo	0,96 ^{NS}	1,89 ^{NS}	2,09*	4,73*
Ni	0,73 ^{NS}	0,93 ^{NS}	4,69*	4,79*
Mo × Ni	1,64 ^{NS}	1,37 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,73 ^{NS}
CV (%)	3,82	3,56	9,82	9,20

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

Tabela 7. Teores e conteúdo de óleo e proteína nos grãos em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Média das três cultivares de soja (safra 2019-2020).

Mo g ha ⁻¹	Óleo (%)	Proteína (%)	Óleo (kg ha ⁻¹)	Proteína (kg ha ⁻¹)
0	22,2	35,9	886,8	1425,3
400	22,2	36,7	887,1	1498,3
800	22,2	37,1	932,0	1556,5
1600	22,1	36,9	950,4	1578,0
Ni (g ha ⁻¹)				
0	22,0a	36,7 ^a	915,4a	1526,4 ^a
60	22,2 ^a	36,7 ^a	920,0a	1532,2 ^a
120	22,4 ^a	36,7 ^a	906,9a	1485,1 ^a
Média	22,2	36,7	914,1	1514,5
ANOVA				
Mo	1,72 ^{NS}	4,04*	5,46*	5,77*

Ni	2,40 ^{NS}	0,57 ^{NS}	4,16*	0,99 ^{NS}
Mo × Ni	0,72 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,56 ^{NS}
CV (%)	2,96	1,95	5,43	5,60

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

No que se refere ao conteúdo de proteína, sementes mais vigorosas proporcionaram maiores quantidades em relação às de menor vigor. Henning *et al.* (2010) relataram que o conteúdo de proteína nos grãos está relacionado com a qualidade fisiológica destas, e além dos fatores genéticos, a quantidade de reservas são fortemente influenciadas pelo ambiente, principalmente durante o período de enchimento. Os resultados indicaram que a aplicação foliar de Mo no estágio reprodutivo pode ser uma alternativa viável, com resultados positivos no fornecimento do nutriente para o aumento da produtividade de grãos (PG) e do teor de proteína para a cultura da soja, o que não ocorreu com o Ni. No entanto, as cultivares responderam de forma distinta e certamente foram influenciadas pelos fatores ambientais.

2.8.1.3.5 Conclusões

A aplicação de Mo e Ni mostrou ser uma estratégia interessante para aumentar a PG da soja independentemente das condições edafoclimáticas e de manejo utilizadas. A presença de interação significativa de Mo × Ni para a PG demonstrou a presença de variação da adubação foliar de Mo em função das doses de Ni, visto que a aplicação foliar de Mo aumentou a PG de soja com efeito linear para as cultivares TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR (1600 g kg⁻¹ de Mo) em área irrigada e com revolvimento do solo. E polinomial com aplicação estimada de 860 g ha⁻¹ na M 5947 IPRO em sistema plantio direto. Para o Ni, a dose ótima também variou entre as cultivares. Houve aumento médio 1,2% do teor de proteína no grão (131,2 kg ha⁻¹) com aplicação de 800 g ha⁻¹ de Mo, além disso, o peso de 100 grãos, número de vagens e número de grãos mostraram ser eficientes na predição da PG da soja.

2.8.1.3.6 Agradecimentos

À CAPES pelo apoio na realização do experimento, a UNESP, campus Ilha Solteira pela condução do experimento em Selvíria (MS), ao Analista Rodrigo S. Leite do Laboratório de Melhoramento da Embrapa Soja pelas análises de óleo e proteína, à equipe de Fertilidade do solo e Microbiologia pelo experimento realizado em Londrina (PR) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

2.8.1.3.7 Referências

ALOVISI, A. M. T. *et. al.* Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.15, n.2, p. 25–32. 2011.

BABENKO, O. N.; BRYCHKOVA, G.; SAGI, M.; ALIKULOV, Z. A. Molybdenum application enhances adaptation of crested wheatgrass to salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 14, 2015.

COLPANI, G. S. **Estudo comparativo de amostras de soja de diferentes regiões do Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro de 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104753/1/O-agronegocio-da-soja-nos-contextos-mundial-e-brasileiro.pdf>. Acesso em: novembro de 2021.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ªed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja na região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 263p. 2011.

FAGERIA, N. K., BARBOSA FILHO, M. P., MOREIRA, A., GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, n.32. 2009a.

FAGERIA, N. K., V. C. BALIGAR, C. A. JONES. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3ªed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011.

- FAHAD, S. et al. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. **Plant Growth Regulation**, v.75, n.2, p.391-404. 2015.
- FEHR, W. R., C. E. CAVINESS, D. T. BURMOOD, J. S. PENNINGTON. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v.11, n.6. p.929–931. 1971.
- FERNÁNDEZ, V., T. SOTIROPOULOS, P. H. BROWN. **Foliar fertilization: scientific principles and field practices**. France, Paris: International fertilizer industry Association, p.144. 2013.
- HEIL, C. Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy. **Thermo Fisher Scientific**, Madison, 3p. 2010.
- HENNING, F. et al. Chemical composition and reserve mobilization in soybean seeds with high and low vigor. **Bragantia**, v.69, n.3, p. 727–734. 2010.
- HORN, G. B. **Relações lineares multivariadas entre variáveis químicas do solo e componentes de rendimento da soja cultivada sobre área pastejada no inverno**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, p. 71. 2022.
- IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim 200 Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7ªed. Campinas: IAC, 2014.
- KOCHENBORGER *et al.* Aplicação foliar de ureia, níquel e sacarose em estágio reprodutivo da soja. **Nativa**, v.11, n.1, p.82-89. 2023.
- LAPERLA, C. A. I. LIMA, M. W. P., VILARINHO, M. S. Ecofisiologia da soja. *In*: DIAS, J. P. T. **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. 1ªed. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais. 2018. p.120-130.
- LOPES, J. F. et al. Produtividade e composição mineral do Feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. **Revista Ceres**, v.63, n.3. 2016.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 1ed. 2009. 398p.
- MOREIRA, A. et al. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019.

- MOURA, M. J. A. **Métodos de aplicação de níquel e seus efeitos sobre as características agronômicas e teor de proteína da soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, p. 45. 2021.
- NEGRI, R. C. **Potencial fisiológico de sementes de soja enriquecidas com molibdênio no armazenamento e sua influência na atividade de enzimas do metabolismo do nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, p.62. 2015.
- OLIVEIRA, C. O. et. al. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v.64, n.3, p.282-290. 2017.
- OLIVEIRA, S. L. **Adubação foliar de molibdênio melhora o metabolismo fotossintético e aumenta produtividade de soja e milho**. Dissertação (Mestre em Agronomia – Agricultura) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/214682/oliveira_sl_me_botfca_par.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- PEREIRA, T. F. S. **Desempenho agronômico de diferentes cultivares de soja (*Glycine max* L.) no município de Ipameri-GO**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 29p. 2021.
- RODAK, B. W.; **Níquel em solos e na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p.101. 2014.
- SANTOS, R. S. **Aplicação de cobalto e molibdênio via foliar em dois estádios de desenvolvimento da cultura da soja**. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 34p. 2021.
- TAIZ, L. ZEIGER, E. MOLLER, I. M., MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

2.8.2 Qualidade de Sementes da Soja em Resposta à Aplicação Foliar de Molibdênio e Níquel

Bruna M. Cardoso¹, Larissa S. Dameto¹, Jorge J. Delfim¹, Larissa A. C. Moraes², Edson Lazarini³ e Adônis Moreira²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ²Departamento de nutrição mineral de plantas, Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ³Departamento de Fitotecnia, Engenharia de Alimentos e Sócio Economia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, Estado de São Paulo, Brasil.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem apresentado desempenho crescente em termos de produtividade. Todavia, o manejo inadequado tem comprometido a qualidade fisiológica de parte significativa das sementes utilizadas no plantio. O molibdênio (Mo) e níquel (Ni) são micronutrientes importantes no metabolismo do nitrogênio (N) e sua assimilação pela soja. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de Mo e Ni na soja cultivada em duas condições de manejo. Os tratamentos foram constituídos de 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1600 g ha⁻¹) e 3 doses de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹), aplicados no início do estágio reprodutivo (R₃ e R₅), de 3 cultivares: a M 5647 IPRO, cultivada em Londrina/PR e a TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR, cultivadas em Selvíria/MS. Foram avaliados o teor total de N, tamanho de peneira e qualidade fisiológica (protrusão radicular, envelhecimento acelerado, germinação e tamanho de plântulas) ou vigor. Exceto para o tamanho de plântulas, a associação do Mo com Ni não apresentou interação significativa. A aplicação de Mo influenciou positivamente no aumento do teor de N, tamanho de grãos e qualidade fisiológica das sementes, com doses entre 800 e 1600 g ha⁻¹. As doses de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni foram, na média das três cultivares, prejudiciais para protrusão de raízes primárias e sem efeito para as demais variáveis analisadas.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Micronutrientes. Teor de nitrogênio. Vigor. Tamanho de peneira.

2.8.2.1 Introdução

A obtenção de sementes de qualidade está relacionada a fatores edafoclimáticos, os quais envolvem características do solo e do ambiente, como a temperatura e a umidade. Segundo Krzyzanowski *et. al.* (2018), a qualidade das sementes tem relação com suas características genéticas, físicas, fisiológicas e sanitárias. O ambiente influencia na qualidade física como o tamanho e a massa, bem como na fisiológica, que engloba a taxa de germinação e emergência de plântulas, comprimento de radícula e envelhecimento acelerado. As reservas são importantes para o estabelecimento da cultura no campo, uma vez que são necessárias até que comece o processo de fotossíntese e podem ser determinantes para a qualidade da produção (HENNING *et. al.*, 2010).

O molibdênio (Mo) e o níquel (Ni) são micronutrientes importantes para o metabolismo do nitrogênio (N) e sua assimilação pelas plantas. Em leguminosas, esse macronutriente é transportado principalmente na forma de ureídeo, através da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Como verificado por TAIZ *et al.* (2017), o N está intimamente ligado ao conteúdo de proteína, uma vez que é necessário para a síntese de aminoácidos. Além disso, é componente dos ácidos graxos, um dos precursores para a formação dos lipídeos. Os ureídeos são hidrolisados pela urease, a qual é constituída de Ni, em gás carbônico (CO₂) e amônio (NH⁴⁺).

O Mo é componente da glutamina sintetase (GS) e glutamato sintetase (GOGAT), que assimilam o NH⁴⁺ em compostos orgânicos. Entretanto, em condições de estresse abiótico, há preferência pela absorção do nitrato (NO³⁻). Este é reduzido a nitrito (NO²⁻) e NH⁴⁺ pela nitrato redutase, também composta pelo Mo. A partir do estágio R₃, ocorre queda no processo de FBN, os metabólitos produzidos e assimilados são redirecionados para os drenos principais, que são os grãos. Cardoso *et. al.* (2020) observaram respostas positivas quanto à qualidade fisiológica das sementes da soja quando utilizou Mo foliar em R₃ e R₅.

Resultado semelhante foi observado por Barcelos (2016) quando estudou aplicação foliar de Ni na soja. Entretanto, são necessários mais estudos, principalmente com o uso associado desses micronutrientes. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes da soja em resposta à aplicação foliar de Mo e Ni em estádios reprodutivos, em duas condições edafoclimáticas e de manejo.

2.8.2.2 Desenvolvimento

2.8.2.2.1 Áreas experimentais

Os experimentos foram realizados em 2 locais com características edafoclimáticas distintas. Sendo o primeiro um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura média, localizado no município de Selvíria/MS, situado nas coordenadas 20°20'53" S e 51°24'02" O. E o segundo em um Latossolo Vermelho Eutroférico típico argiloso, no município de Londrina/PR, nas coordenadas 23°23'30" S e 51°11'05" O (EMBRAPA, 2018). Os atributos dos solos antes da instalação dos experimentos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Atributos dos solos antes da instalação dos experimentos.

Atributos	Londrina, PR	Selvíria, MS
pH (CaCl ₂)	4,4	5,3
MO, g dm ⁻³	22,5	20,0
P, mg dm ⁻³	23,4	29,0
K ⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,0	0,2
Ca ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	4,5	2,5
Mg ²⁺ , cmol _c dm ⁻³	1,7	1,6
Al ³⁺ , cmol _c dm ⁻³	0,3	0,0
H+Al, cmol _c dm ⁻³	6,5	2,5
CTC, cmol _c dm ⁻³	13,7	6,9
V, %	52,2	64,0
S-SO ₄ ²⁻ , mg dm ⁻³	8,4	2,0
B, mg dm ⁻³	0,5	0,2
Cu, mg dm ⁻³	8,4	1,8
Fe, mg dm ⁻³	112,0	20,0
Mn, mg dm ⁻³	43,2	21,7
Zn, mg dm ⁻³	8,1	0,8
Argila, g kg ⁻¹	757,0	378,0
Areia, g kg ⁻¹	51,0	574,0

CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação por bases [(ΣK, Ca, Mg/ΣK, Ca, Mg, H+Al)/100]

Fonte: Embrapa, 1997.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4 × 3, com 4 doses de Mo (0, 400, 800 e 1200 g ha⁻¹) e 3 de Ni (0, 60 e 120 g ha⁻¹) e 4 repetições. As parcelas foram de 8 × 4 m, sendo consideradas as linhas centrais como a área útil de cada parcela, o espaçamento entrelinhas foi de 0,50 m. No experimento de Londrina, 30 antes do plantio foi aplicado calcário para elevar a saturação por bases (V) a 60%, enquanto no de Selvíria não foi necessário (IAC, 2014; MOREIRA *et al.*, 2019).

Antes do plantio as sementes foram previamente tratadas com fungicida e inoculadas com inoculante líquido contendo estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. Posteriormente, a semeadura foi realizada com 13 sementes por metro linear e a adubação foi feita de acordo as recomendações de Moreira *et al.* (2019) para Londrina e de acordo com o IAC (2014) para Selvíria. As cultivares de hábito de crescimento indeterminado foram a M 5947 IPRO em Londrina, BMX Desafio RR e TMG 7063 IPRO em Selvíria.

O fornecimento de Mo (produto com 15% de Mo e densidade de 1,32 g L⁻¹) e Ni (cloreto de Ni anidro com 43,5% de Ni) foram realizadas no período da tarde, horário de menor ocorrência de ventos. Os tratos fitossanitários em todo ciclo foram realizados de acordo com a Embrapa (2011).

2.8.2.2.2 Avaliações

As sementes foram classificadas de acordo com a tamanho das peneiras: $\geq 4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$, $= 4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ e $4,76 \text{ mm} \times 19,05 \text{ mm}$ (MAPA, 2009). Após a separação por tamanho, foram homogeneizadas e determinado o teor total de N conforme metodologia descrita em Malavolta *et al.* (1997). Para determinação do vigor, foram separadas de acordo com o grau de umidade (10, 12 e 14%), cultivar e tamanho de peneira (MAPA, 2009).

O teste de germinação foi realizado de acordo com as regras para análise de sementes. Para o percentual médio de germinação, os valores de plântulas normais das 4 subamostras foram somados e dividido por 2 (MAPA, 2009). Para os testes de comprimento de plântulas, emissão de radícula e envelhecimento acelerado, foram utilizadas as metodologias descritas por Krzyzanowski *et al.* (2020) e Leite *et al.* (2019).

2.8.2.2.3 Análise estatística

Após a checagem da independência e normalidade dos erros, homogeneidade da variância dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F a 5% de probabilidade.

2.8.2.2.4 Resultados e discussão

Tabela 9. Teor total de N e tamanho das sementes em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni) na soja cultivada em Londrina/PR (M 5947 IPRO) e Selvíria/MS (TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR). Safra 2019-2020.

Mo g ha ⁻¹	Teor de N - Grãos (g kg ⁻¹)	≥ 4,76 mm × 19,05 mm Ø (%)	4,76 mm × 19,05 mm Ø (%)	< 4,76 mm × 19,05 mm Ø (%)
M 5947 IPRO, Londrina - PR				
0	58,6	72,8	12,8	14,4
400	60,3	76,1	10,2	13,7
800	60,5	77,3	9,8	12,9
1600	60,0	79,1	10,0	10,9
Ni (g ha ⁻¹)				
0	60,4a	77,7a	10,0a	12,3a
60	60,1a	76,7a	10,9a	12,4a
120	59,4a	74,6a	11,2a	14,2a
Média	59,8	76,3	10,7	13,0
ANOVA				
Mo	5,46*	3,14*	1,45 ^{NS}	0,53 ^{NS}
Ni	0,33 ^{NS}	0,38 ^{NS}	2,09 ^{NS}	1,06 ^{NS}
Mo × Ni	0,65 ^{NS}	0,41 ^{NS}	2,15 ^{NS}	2,27 ^{NS}
CV (%)	2,56	16,23	15,43	18,63
TMG 7063 IPRO, Selvíria - MS				
0	58,3	85,7	8,4	5,9
400	59,3	90,0	7,3	2,7
800	59,3	91,1	6,0	2,9
1600	58,3	91,7	5,5	2,8
Ni (g ha ⁻¹)				
0	58,8a	88,1a	7,5a	4,4a
60	59,0a	90,0a	6,8a	3,2a
120	58,6a	90,8a	6,1b	3,1a
Média	58,8	89,6	6,8	3,6
ANOVA				
Mo	1,77 ^{NS}	4,52*	2,97*	7,25*
Ni	0,27 ^{NS}	1,47 ^{NS}	3,22*	1,79 ^{NS}
Mo × Ni	0,66 ^{NS}	1,67 ^{NS}	2,81*	1,20 ^{NS}
CV (%)	2,51	4,92	19,10	24,11
BMX Desafio RR, Selvíria - MS				
0	56,3	92,1	4,8	3,1
400	57,9	92,6	4,9	2,5
800	58,2	93,9	3,5	2,6
1600	57,6	94,1	3,6	2,3
Ni (g ha ⁻¹)				
0	57,2	93,6a	3,9b	2,5a
60	58,1	93,9a	3,8b	2,3a
120	57,3	92,1b	5,0a	2,9a
Média	57,5	93,2	4,2	2,6
ANOVA				
Mo	1,88 ^{NS}	4,96*	8,10*	1,85 ^{NS}
Ni	0,99 ^{NS}	6,64*	9,37*	1,85 ^{NS}
Mo × Ni	1,33 ^{NS}	1,48 ^{NS}	3,18*	0,90 ^{NS}

CV (%)	3,56	1,60	21,18	19,33
--------	------	------	-------	-------

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

A interação Mo \times Ni não foi significativa para o teor total de N na semente (Tabela 9), indicando que a aplicação foliar de Mo independe da presença de Ni na solução. No entanto, com aplicação de Mo, houve efeito positivo para a cultivar M 5947 IPRO e na média das 3 cultivares (Tabelas 9 e 10). Esse está acima da média encontrada por Moreira *et al.* (2016), de 49,5 g kg⁻¹, ao avaliarem 24 cultivares de soja. O incremento desse macronutriente em função das doses de Mo corrobora com Oliveira (2021), ao avaliar aumento das atividades enzimáticas envolvidas na fotossíntese e assimilação de N na soja e no milho.

Com relação ao tamanho das sementes, houve efeito das doses de Mo para cada cultivar e para média das 3 cultivares, para a peneira com diâmetro $\geq 4,76$ mm \times 19,05 mm (Tabelas 9 e 10). Observou que o manejo adotado interferiu no tamanho, visto que na área de Londrina, sem irrigação, 76,3% ficaram retidas nesta peneira, enquanto em Selvíria, com irrigação, a proporção foi de 89,9% para a TMG 7063 IPRO e 93,2% na BMX Desafio RR (Tabela 9). Com relação a adubação foliar de Ni, a dose 120 g ha⁻¹ reduziu significativamente o tamanho das sementes da cultivar BMX Desafio RR, não havendo efeito da aplicação de Ni nas outras cultivares utilizadas (Tabela 9).

Tabela 10. Teor total de N e tamanho das sementes em função da aplicação foliar de doses de molibdênio (Mo) e níquel (Ni) na soja cultivada em Londrina/PR (M 5947 IPRO) e Selvíria/MS (TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR). Média das três cultivares. Safra 2019-2020.

Mo	Teor de N - Grãos (g kg ⁻¹)	$\geq 4,76$ mm \times 19,05 mm \varnothing (%)	4,76 mm \times 19,05 mm \varnothing (%)	$< 4,76$ mm \times 19,05 mm \varnothing (%)
g ha ⁻¹				
0	57,7	83,5	8,7	5,6
400	59,2	86,2	6,4	5,4
800	59,4	87,4	6,9	6,1
1600	58,6	88,3	7,0	6,1
Ni (g ha ⁻¹)				
0	58,8a	86,5a	7,1a	6,5a
60	59,1a	86,9a	7,2a	5,9a
120	58,6a	85,8a	7,4a	6,8a
Média	58,7	86,4	7,2	6,4
ANOVA				
Mo	3,46*	7,06*	5,97*	6,30*

Ni	0,34 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,71 ^{NS}
Mo × Ni	0,54 ^{NS}	2,16 ^{NS}	2,50*	1,53 ^{NS}
CV (%)	1,81	3,88	22,27	26,65

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

Esse resultado mostra-se relevante, visto que o aumento do tamanho das sementes pode acarretar em plântulas com maior conteúdo de matéria seca. Assim, lavouras semeadas por sementes maiores podem apresentar melhores resultados em produtividade e qualidade da produção, devido ao melhor estabelecimento inicial causado pelo maior acúmulo de reservas (PÁDUA *et al.*, 2010; HENNING *et al.*, 2010). No entanto, devido ao aumento do custo de produção, a utilização de sementes pequenas pode tornar-se mais econômica para os produtores, uma vez que a maior quantidade por volume de semente acarreta maior área plantada (LIMA *et al.*, 1999).

Tabela 11. Qualidade fisiológica de sementes da soja em função de doses foliares de molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Cultivares M 5947 IPRO (Londrina - PR), TMG 7063 e BMX Desafio RR (Selvíria – MS), safra 2019-2020.

Mo g ha ⁻¹	Protrusão radicular (%)	Germinação (%)	Envelhecimento (%)	Tamanho de plântulas (cm)
M 5947 IPRO, Londrina - PR				
0	47,0	70,7	21,7	15,4
400	57,0	69,2	33,8	15,7
800	60,0	73,8	34,0	17,2
1600	49,0	80,1	34,5	18,0
Ni (g ha ⁻¹)				
0	56,0a	73,7a	27,7b	16,3a
60	54,0a	76,7a	32,4a	16,4a
120	50,0a	70,1a	32,8a	17,0a
Média	53,3	73,5	31,0	16,5
ANOVA				
Mo	3,15*	2,49 ^{NS}	9,36*	2,18 ^{NS}
Ni	0,52 ^{NS}	1,26 ^{NS}	3,34*	1,48 ^{NS}
Mo × Ni	0,50 ^{NS}	1,64 ^{NS}	1,89 ^{NS}	153 ^{NS}
CV (%)	16,55	19,79	17,01	19,18
TMG 7063 IPRO, Selvíria - MS				
0	45,0	71,4	30,1	14,7
400	55,8	81,8	35,4	15,6
800	61,7	82,5	39,6	15,6
1600	51,7	71,3	37,6	18,3
Ni (g ha ⁻¹)				
0	63,8a	75,4a	35,8a	16,4a
60	53,8b	77,3a	34,7a	15,7a
120	43,1c	77,6a	36,6a	16,1a

Média	53,6	76,8	35,7	16,1
ANOVA				
Mo	2,36*	4,91*	1,63 ^{NS}	5,70*
Ni	3,92*	0,23 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,44 ^{NS}
Mo × Ni	0,72 ^{NS}	0,93 ^{NS}	1,79 ^{NS}	5,44*
CV (%)	18,91	12,73	21,43	14,42
BMX Desafio RR, Selvíria - MS				
0	39,2	68,0	14,9	13,0
400	49,2	69,3	22,7	16,0
800	51,7	74,8	27,5	17,3
1600	50,8	74,8	27,8	18,3
Ni (g ha ⁻¹)				
0	51,9a	71,4a	22,0a	16,4a
60	50,0a	74,7a	22,0a	16,2a
120	41,3b	69,1a	25,8a	15,8a
Média	47,7	71,7	23,2	16,1
ANOVA				
Mo	3,79*	2,79 ^{NS}	3,48*	7,05*
Ni	3,01*	2,29 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,17 ^{NS}
Mo × Ni	2,91*	1,85 ^{NS}	0,43 ^{NS}	1,44 ^{NS}
CV (%)	17,36	10,42	22,13	18,56

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

De acordo com os resultados de envelhecimento acelerado (Tabela 11 e 12) foi possível classificar as sementes de soja das três cultivares em alto e baixo vigor. A porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de envelhecimento acelerado variou entre cultivares, com média de 31,0, 35,7 e 23,2% para as cultivares M 5647 IPRO, TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR, respectivamente (Tabela 11), enquanto na média o valor foi de 30% (Tabela 12). Esses valores estão bem abaixo dos indicados por Henning *et al.* (2010), que ao estudarem a composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor, classificaram como sendo 77% para os lotes de baixo vigor e 94% para os lotes de alto vigor.

Tabela 12. Qualidade fisiológica de sementes da soja em função de doses foliares de molibdênio (Mo) e níquel (Ni). Média das três cultivares M 5947 IPRO (Londrina - PR), TMG 7063 e BMX Desafio RR (Selvíria – MS), safra 2019-2020.

Mo g ha ⁻¹	Protrusão radicular (%)	Germinação (%)	Envelhecimento (%)	Tamanho de plântulas (cm)
0	43,7	70,0	22,2	14,4
400	54,0	73,4	30,6	15,8
800	57,8	77,0	33,8	16,7

1600	50,5	75,4	33,3	18,2
Ni (g ha ⁻¹)				
0	57,2a	73,5a	28,5a	16,4a
60	52,6ab	76,2a	29,7a	16,1a
120	44,8b	70,2a	31,7a	16,3a
Média	51,5	73,9	30,0	16,3
ANOVA				
Mo	3,59*	2,65 ^{NS}	3,21*	7,96*
Ni	4,10*	0,38 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,04 ^{NS}
Mo × Ni	1,01 ^{NS}	0,76 ^{NS}	1,63 ^{NS}	5,46*
CV (%)	17,94	10,51	18,43	10,64

*significativo e ^{NS}não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: próprio autor.

Tekrony (1995) relata que o teste de envelhecimento acelerado é um método eficiente para a avaliação do vigor de sementes, sendo capaz de proporcionar informações com alto grau de confiança. Apesar dos baixos valores e da ausência de interação Mo × Ni, houve efeito da aplicação de Mo, com incremento de 59,0 e 86,6% com aplicação de 1600 g ha⁻¹ em comparação ao controle, nas cultivares M 5947 IPRO e BMX Desafio RR. Na cultivar M 5947 IPRO foi de 18,4% com 120 g ha⁻¹ de Ni e na média das cultivares o aumento com aplicação de Mo foi de 50% (Tabela 12). Nakao *et al.* (2014), mesmo não obtendo efeito significativo, também verificaram um aumento da qualidade das sementes de soja com aplicação foliar de 800 g ha⁻¹ de Mo. Apesar dos efeitos dos tratamentos, fatores como transporte e armazenamento inadequado das sementes, visto a demora do processo de colheita e avaliação verificada podem influenciar negativamente o teste de envelhecimento acelerado.

A porcentagem de germinação (Tabelas 11 e 12) não apresentou efeito dos tratamentos (Mo x Ni) dentro de cada cultivar e na média das cultivares. Os valores variaram de 68 a 82,5%, com média entre as cultivares de 73,9% (Tabela 12). Esses estão abaixo dos indicados por Henning *et al.* (2010), ao reportarem 85 a 89% como sendo de alto vigor e acima de 90% como vigor muito alto. No caso do comprimento de plântulas (Tabelas 11 e 12), pôde-se observar que as sementes com maior % de germinação e envelhecimento acelerado resultaram em plântulas de maior comprimento. Esses dados corroboram Vanzolini *et al.* (2002), ao verificarem que sementes mais vigorosas produzem maior comprimento total das plântulas.

A protusão radicular, independentemente das cultivares, houve aumento da porcentagem de plântulas com mais de dois centímetros de radículas com a aplicação foliar de 800 g ha⁻¹ de Mo e efeito negativo para o Ni para as cultivares TMG 7063 IPRO e BMX Desafio

RR. A interação Mo \times Ni foi significativa para a BMX Desafio RR. Estes resultados são relevantes, visto que a protrusão radicular faz parte do processo de germinação da semente e ocorre após a absorção de água e início dos processos fisiológicos de crescimento (NONOGAKI, 2006). A sua taxa de ocorrência depende da qualidade de germinação e é baseada no princípio de que sementes com maior vigor emitem as raízes primárias mais rapidamente do que as menos vigorosas (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Corroborando Nakao *et al.* (2014), os resultados obtidos indicaram que a aplicação foliar de Mo no estágio reprodutivo pode ser uma alternativa viável no aumento da qualidade das sementes de soja, o que não foi verificado com o Ni. No entanto, depende da cultivar e do tipo de manejo adotado (irrigado ou não), pode-se observar respostas distintas com relação ao tamanho das sementes. Apesar dos resultados promissores, estudos ainda são necessários para avaliar com maior acurácia a resposta da aplicação foliar de Mo e, principalmente de Ni na qualidade das sementes de soja.

2.8.2.2.5 Conclusões

Os resultados demonstram que as cultivares apresentaram respostas distintas em relação aos tratamentos, exceto para o tamanho de plântulas, a associação do Mo com Ni não apresentaram interação significativa. Porém, a aplicação foliar de Mo influenciou positivamente no teor de N, tamanho de grãos e qualidade fisiológica das sementes, nas doses entre 800 e 1600 g ha⁻¹, enquanto as doses de 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni foram, na média das três cultivares, prejudiciais para protrusão de raízes primárias e sem efeito para as demais variáveis analisadas.

2.8.2.2.6 Agradecimentos

À CAPES pelo apoio na realização do experimento, a UNESP, campus Ilha Solteira pela condução do experimento em Selvíria (MS), ao Analista Rodrigo S. Leite do Laboratório de Melhoramento da Embrapa Soja pelas análises de óleo e proteína, à equipe de Fertilidade do solo e Microbiologia pelo experimento realizado em Londrina (PR) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

2.8.2.2.6 Referências

- BARCELOS, J. P. Q. **Níquel no controle do oídio (*Erysiphe diffusa*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho.” Ilha Solteira. 155p. 2016.
- CAPELIN, M. A. **Ambiente de cultivo, composição química, potencial fisiológico e armazenamento de sementes de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, p.95. 2022.
- CARDOSO, B. M. *et al.* Effect of foliar molybdenum application on seed quality of soybean cultivars. **Communications in Soil Science and Plants Analysis**, v.52, p.666-672. 2020.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ªed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ªed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.
- HENNING, F. A. *et al.* Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.
- HENNING, F. A. *et al.* Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v.69, n.3. 2010.
- IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim 200 Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7ªed. Campinas: IAC, 2014.
- KRZYZANOWSKI, f. C. FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A. **A qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Embrapa Soja: Londrina. Circular técnica, n.136. Maio, 2018.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020. 601 p.
- LEITE, C. A. M., J. B. FRANÇA-NETO, F. C. KRZYZANOWSKI, F. G. GOMES JÚNIOR. **Validação do sistema de análise de imagens Vigor-S para a determinação de fitotoxidades em plântulas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, Abrates. 2018.
- LIMA, A. M. M. P., R. CARMONA. Influência do tamanho das sementes no desempenho produtivo da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.157–163. 1999.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 1ed. 2009. 398p.
- MOREIRA, A. et al. **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019.
- MOREIRA, A. MORAES, L. A. C. SOUZA, L. G. M. BRUNO, I, P. Bioavailability of nutrients in seeds from tropical and subtropical soybean varieties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n.47, p.888–898. 2016.
- NAKAO, A. H. *et. al.* Aplicação foliar de molibdênio em soja: efeitos na produtividade e na qualidade fisiológica das sementes. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, p. 343–352. 2014.
- NONOGAKI, H. Seed germination: the biochemical and molecular mechanisms. *Breeding Science*, v.56, n.1, p.93–105. 2006.
- OLIVEIRA I. C. *et. al.* Protrusão radicular na qualidade de sementes de chia. **Revista Caatinga**, v.32, n.1, p.282–287. 2019.
- OLIVEIRA, S. L. **Adubação foliar de molibdênio melhora o metabolismo fotossintético e aumenta a produtividade da soja e do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2021.
- PÁDUA, G. P., R. K. ZITO, N. E. ARANTES, J. B. FRANÇA NETO. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3, p. 9–16. 2010.
- TAIZ, L. ZEIGER, E. MOLLER, I. M., MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEKRONY, M. A. S. Accelerated ageing. In: *Handbook of Vigour Test Methods*. HAMPTON J. G., TEKRONY, D.M. Zurich: ISTA. 1995. p.35-50.
- VANZOLINI, S., N. M. CARVALHO. Efeitos do vigor da semente de soja no desempenho da planta no campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.33, p.41. 2002.

3 CONCLUSÕES

A presença de interação significativa de Mo \times Ni para a PG demonstrou a presença de variação da adubação foliar de Mo em função das doses de Ni. O Mo aumentou a PG de soja com efeito linear para as cultivares TMG 7063 IPRO e BMX Desafio RR, em área irrigada e com revolvimento do solo. Para a M 5947 IPRO em sistema plantio direto foi polinomial, com dose estimada de 860 g ha⁻¹. Para o Ni, a dose ótima também variou entre as cultivares. Houve incremento médio de 1,2% no teor de proteína nos grãos (131,2 kg ha⁻¹) com aplicação de 800 g ha⁻¹ de Mo, além disso, o peso de 100 grãos, NVP e número de grãos mostraram ser eficientes na predição da PG da soja.

As cultivares apresentaram resposta distintas em relação aos tratamentos, e exceto para o tamanho de plântulas, a associação do Mo com Ni não apresentaram interação significativa. Porém, a aplicação foliar de Mo influenciou positivamente no aumento do teor de N, tamanho de grãos e qualidade fisiológica das sementes com doses entre 800 e 1600 g ha⁻¹, enquanto as doses 60 e 120 g ha⁻¹ de Ni foram, na média das três cultivares, prejudiciais para protrusão de raízes primárias e sem efeito para as demais variáveis analisadas.