

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

WERLEN ARAUJO BARBOSA

**EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA SOBRE O
CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE DE FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO
EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL**

São Luís - MA

2022

WERLEN ARAUJO BARBOSA

Engenheiro Agrônomo

**EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA SOBRE O
CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE DE FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO
EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão com o objetivo de obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Rogério Faria Vieira

Coorientador: Prof. Heder Braun

São Luís - MA

2022

Barbosa, Werlen Araújo.

Efeito da adubação nitrogenada em cobertura sobre o conteúdo de molibdênio da semente de feijão-caupi cultivado em solos coesos de baixa fertilidade natural / Werlen Araújo Barbosa. – São Luís, 2022.

26 f

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1.Nutrição molíbdica. 2.Produtividade. 3.Enriquecimento de sementes. 4.Nitrogênio. 5. *Vigna unguiculata*. I.Título.

CDU: 635.652-184

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA


WERLEN ARAUJO BARBOSA

Aprovado em: ____/____/____

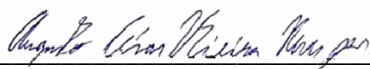
BANCA EXAMINADORA



Prof. Rogério Faria Vieira (Orientador)



Prof. Heder Braun (Membro)



Augusto César Vieira Neves Junior (Membro)

São Luís - MA

2022

Dedico!

À Deus.

Aos meus pais Jeane Araújo Barbosa e Benedito Barbosa, por todo o carinho e ensinamentos em toda a minha vida.

À minha esposa Ester de Paiva Alves Barbosa e minha filha Júlia de Paiva Alves Barbosa por serem minha inspiração e me darem forças em toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao senhor Jesus Cristo, por sua imensa misericórdia, pelo dom da vida, por todas as bênçãos concedidas e por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais Jeane Barbosa e Benedito Barbosa, por todo incentivo e apoio nos estudos e na vida.

À minha amada Ester de Paiva Alves Barbosa que acompanhou meus passos durante a carreira acadêmica desde o começo e até hoje posso contar com seu apoio.

À CAPES e à FAPEMA pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado, e pelo apoio financeiro para a execução do projeto de pesquisa.

À Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador Prof. Rogério Faria Vieira, pelos novos ensinamentos durante a execução da pesquisa e durante o curso de redação científica, pela paciência e apoio.

Ao professor Heder Braun, obrigado por todo conhecimento e paciência desde a graduação, também pela atenção e confiança.

À Dra. Cristina Silva Carvalho pelo apoio durante a pesquisa e na construção da dissertação.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.

Agradeço à Rayanne Cristine C. E Ferreira e à Denise Araújo Ruas, secretárias do Programa de Pós-graduação em Agroecologia, sempre atenciosas e dispostas a ajudar todos os alunos.

Aos funcionários do programa, em especial ao Neto, João, Maria, Paulino, que sempre estiveram disposto a nos ajudar na condução dos experimentos.

À equipe de pesquisa do professor Heder: Assistone, Erivaldo, Francisneide, Gustavo, Karen, Lincon, Marcelo, Marcos, Diéssica, Vanessa e Ester, obrigado pelo apoio e assistência nas execuções das atividades, aprendi muito com vocês.

A todos os colegas da turma do mestrado de 2019.

E a todos que me ajudaram de alguma forma na construção desse trabalho.

Obrigado a todos!

*Tu és o meu Deus; graças te darei! Ó meu Deus, eu te exaltarei! Deem graças ao Senhor,
porque ele é bom; o seu amor dura para sempre.*

Salmos 118:28-29

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Feijão-Caupi.....	14
2.2 Nitrogênio	14
2.3 Molibdênio.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Tratamentos e Delineamento experimental	17
3.2 Instalação e condução do experimento	18
3.3 Características avaliadas	18
3.4 Análises estatísticas	18
4 RESULTADOS	19
5 DISCUSSÃO	21
CONCLUSÃO	21
AGRADECIMENTOS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Precipitação acumulada e temperatura média durante o período de instalação do experimento com feijão-caupi em São Luís - MA, em 2019 (INMET, 2021).17

Figura 2 - Interação entre doses de Mo aplicadas na folhagem (g ha^{-1}) e doses de N em cobertura (kg ha^{-1}) sobre a (a) produtividade de grãos, (b) teor de Mo na semente, (c) conteúdo de Mo na semente ($n=4$) e os efeitos das doses de Mo sobre o (d) número de vagens por planta ($n=8$). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Tukey. As médias das variáveis dependentes afetadas pelas doses de N foram comparadas pelo teste F. Foi usado o nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio-padrão.....20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de P para as variáveis produtividade de grãos, teor e conteúdo de Mo na semente e componentes da produtividade em resposta à aplicação de doses de Mo aplicadas na folhagem, doses de N aplicadas em cobertura e da interação entre esses fatores. CV (%) = coeficiente de variação	19
---	----

RESUMO GERAL

Na literatura são escassos estudos que tenham avaliado os efeitos do nitrogênio (N) em cobertura no conteúdo de molibdênio (Mo) nas sementes de feijão-caupi. A nossa hipótese é que a adubação com N em cobertura aumenta o conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi. Foi conduzido um ensaio em São Luís, Maranhão, entre maio e agosto de 2019. Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 4 x 2: doses de Mo aplicadas na folhagem (0, 50, 250 ou 500 g ha⁻¹) e doses de N em cobertura (0 ou 50 kg ha⁻¹), no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A fonte de Mo foi molibdato de sódio e a fonte de N, ureia. No plantio, todas as parcelas receberam 350 kg ha⁻¹ do formulado de 4-14-8. Foi utilizada a cultivar BRS Guariba. A produtividade média do ensaio foi 627±172 kg ha⁻¹, e as plantas que não receberam N ou Mo apresentaram 2,42±0,68 nódulos por planta. Houve interação significativa (P < 0,010) entre doses de Mo e doses de N na produtividade e no conteúdo de Mo na semente. Sem aplicação de N em cobertura, a produtividade aumentou de 306 kg ha⁻¹ (sem Mo) para 729 kg ha⁻¹ (com 250 g ha⁻¹ de Mo). Com aplicação de N em cobertura, não houve diferença significativa entre as produtividades obtidas com as doses entre 50 e 500 g ha⁻¹ de Mo, mas plantas pulverizadas com 50 g ha⁻¹ de Mo produziram 58% mais grãos que as que não receberam Mo. Sem aplicação de N em cobertura, o conteúdo de Mo na semente aumentou até a dose de 500 g ha⁻¹ de Mo e atingiu 5,9 µg semente⁻¹ de Mo. Com aplicação de N em cobertura, o conteúdo de Mo na semente aumentou até a dose de 250 g ha⁻¹ de Mo e atingiu 5,1 µg semente⁻¹ de Mo. Nossos resultados sugerem que a aplicação de N em cobertura aumenta o conteúdo de Mo na semente quando as plantas de feijão-caupi são pulverizadas com doses de até 250 g ha⁻¹ de Mo.

Palavras-chave: Nutrição molíbdica, Produtividade, enriquecimento de sementes, Nitrogênio, *Vigna unguiculata*.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) tem grande importância tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda para os agricultores familiares das regiões tropicais do Brasil. Nas regiões tropicais, o feijão-caupi é uma das culturas de segunda safra mais rústicas (Matsui e Singh, 2003) e é fonte de proteína, minerais e fibra para muitas famílias de agricultores. Por isso, constitui um componente alimentar básico para as populações rurais e urbanas dessas regiões do Brasil. Diante da importância do feijão-caupi para essas regiões brasileiras, alternativas viáveis e de baixo custo são necessárias para aumentar a produtividade, a renda e a qualidade de vida dos agricultores maranhenses (Freire Filho 2011).

O feijão-caupi requer nitrogênio (N) em grande quantidade durante todo o seu ciclo para o seu desenvolvimento completo (Rosolem e MarubayshI, 1994; Freire Filho et al., 2005). A adubação nitrogenada, quando aplicada de forma excessiva, pode onerar o custo da produção, aumentar as perdas por lixiviação e volatilização, e acarretar baixa resposta na produtividade de grãos pelas culturas (Soratto et al., 2003; Hungria et al., 2006; Thorburn et al., 2011). As fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira são ureia e sulfato de amônio. A ureia, pelas suas características e reação no solo, tem potencial de perda de amônia (NH_3) por volatilização (Keller e Mengel, 1986; Lara e Trivelin, 1990) e o sulfato de amônia alta capacidade de acidificação do solo (Barbosa Filho et al., 2001).

Dentre as alternativas para reduzir o uso de N pelos agricultores maranhenses, o uso de sementes de feijão-caupi ricas em molibdênio (Mo) pode ser uma alternativa de baixo custo, com potencial para melhorar a nutrição nitrogenada e a produtividade de grãos. Há vários trabalhos que demonstraram os efeitos da aplicação de Mo sobre o crescimento, a nodulação, a fixação biológica de N (FBN) e a produtividade da soja (Albino e Campo, 2001; Gris et al., 2005; Campo et al., 2009), do amendoim (Caíres e Rosolem, 2000; Quaggio et al., 2004), do feijão-comum (Vieira et al., 2005; Vieira et al., 2011; Leite et al., 2007; Kusdra, 2003; Lopes et al., 2016; Sapucay et al., 2016) e do feijão-caupi (Leite et al., 2009, Barbosa et al., 2021).

O Mo é um dos micronutrientes requerido em menor quantidade pelas plantas. Por isso, é possível fornecer esse micronutriente para as plantas por intermédio de sementes grandes, como as de feijão-comum, feijão-caupi e soja. Na Zâmbia, Brodrick e Amijee (1995) verificaram que os conteúdos de Mo variaram de 0,09 (baixo) a 9,0 μg de Mo por semente. Na Zona da Mata de Minas Gerais Brasil, Vieira et al. (2011) verificaram que os conteúdos de Mo variaram de 0,007 (baixo) a 6,961 μg semente⁻¹ de Mo no feijão-comum. Esses conteúdos de Mo foram obtidos nas sementes colhidas das plantas que receberam doses de 0 a 4000 g ha^{-1} , respectivamente.

Trabalhos relacionados ao fornecimento de Mo via sementes são realizados desde os anos 80 e 90 (Jacob-Neto e Franco, 1986; Jacob-Neto e Rossetto, 1998). Esses autores relataram que sementes enriquecidas com Mo podem aumentar a disponibilidade de Mo na plântula, e a reserva interna da semente pode fornecer quantidades suficientes de Mo para que a planta cresça sem adição suplementar de Mo ao solo. É possível fornecer ao agricultor sementes de feijão-comum (Vieira et al., 2005, 2011 e 2015, Pacheco et al., 2012) e de feijão-caupi (Barbosa et al. (2021) ricas em Mo pela pulverização das plantas com doses relativamente altas de Mo. Esses autores avançaram no conhecimento sobre o enriquecimento de Mo via semente tanto na região da Zona da Mata de Minas Gerais quanto na região sub-tropical do Maranhão.

Ao usarem sementes ricas em Mo, os agricultores, mesmo alheios a essa tecnologia (Vieira et al., 2015), fornecem esse micronutriente para as plantas de feijão-caupi, o que pode aumentar substancialmente a produtividade da cultura (Barbosa et al., 2021). Vieira et al. (2015) relataram que para produzir sementes ricas em Mo, as plantas são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com doses de Mo ($\sim 600 \text{ g ha}^{-1}$) mais altas que as usadas em pulverização (70 a 100 g ha^{-1}) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo (Berger et al., 1996). É importante frisar que o Mo contido na semente só supre a planta-filha, ou seja, as sementes colhidas da planta-filha voltam a ser pobres em Mo se o solo for deficiente nesse micronutriente (Vieira et al., 2005).

O enriquecimento de Mo via semente é uma prática que proporciona algumas vantagens, como aumento da eficiência do uso do micronutriente pela planta, e por ser uma prática de baixo custo (Vieira et al., 2015). No entanto, os resultados obtidos até o momento foram com feijão comum, sobretudo na Zona da Mata de Minas Gerais.

Para potencializar a tecnologia de enriquecimento de sementes com Mo, pode-se lançar mão de algumas estratégias como a aplicação de N em cobertura. Essa hipótese é fundamentada que o N possa aumentar o crescimento das raízes (Liu et al., 2018; Chen et al., 2020) e da parte aérea das plantas (Adibeh et al., 2021). A adubação nitrogenada pode aumentar a área foliar das plantas e assim interceptar mais o Mo pulverizado na folhagem. A nossa hipótese é que a adubação com N amoniacal em cobertura pode aumentar o conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi cultivado em solos coesos de baixa fertilidade natural. Logo, nosso objetivo foi avaliar o efeito da adubação com N amoniacal em cobertura no conteúdo de Mo nas sementes e na produtividade de feijão-caupi cultivado na periferia amazônica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-Caupi

O feijão-caupi é de grande importância socioeconômica, principalmente para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde constitui um dos componentes da dieta alimentar das famílias carentes (Teófilo et al., 2008). Além disso, essa cultura é responsável por garantir a permanência das famílias no campo ao gerar emprego e renda. A maioria dessas famílias utiliza o sistema de cultivo de corte e queima, ou sistema itinerante, em que obtém a cinza como produto para melhorar a fertilidade dos solos e nutrir as plantas. Atualmente, essa prática é adotada principalmente por agricultores com baixo poder aquisitivo, que não podem comprar insumos (fertilizantes e sementes). Além desse fator, as características dos solos também contribuem para o uso dessa prática, pois esses solos maranhenses são derivados de rochas sedimentares, mais precisamente arenitos finos (percentagens de areia fina superior a 500 g.kg^{-1} , teores de silte entre 60 g kg^{-1} e 80 g kg^{-1} e argila entre 100 g.kg^{-1} e 150 g kg^{-1}) com baixa capacidade de retenção de cátions e pouca disponibilidade dos principais nutrientes vegetais (Aguiar et al., 2010; 2013). Por causa dessas peculiaridades e dos efeitos causados pelos estresses bióticos e abióticos, os agricultores obtêm rendimentos em torno de 500 kg ha^{-1} com o feijão-caupi.

Para aumentar o rendimento das áreas desmatadas e para reduzir o sistema de cultivo itinerante, os agricultores exploram plenamente a estação chuvosa, que tem duração de quatro a seis meses. Isso significa ter duas safras: a primeira destinada ao arroz, milho e mandioca e a segunda destinada a culturas de ciclo curto, com maior resistência ao déficit hídrico, como é o caso do feijão-caupi. Nas regiões tropicais, o caupi é uma das culturas de segunda safra mais adequada, pois apresenta rusticidade (Matsui e Singh, 2003) e é fonte de proteína para muitas famílias.

2.2 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Deficiência de N e de clorofila indicam que a planta utilizará, de forma ineficiente, a luz como fonte de energia para realizar funções como produção de carboidratos e absorção de nutrientes. O N faz parte dos aminoácidos e proteínas. Limitação de N reduz o crescimento da planta por reduzir-lhe a capacidade de incorporar carbono. À medida que a planta cresce, a deficiência de N reduz a produção de clorofila e de Rubisco e até mesmo limita a regeneração

da Rubisco existente (Marschner, 1995). A baixa disponibilidade de N na camada arável do solo somada à demanda de N pelas plantas faz com que esse nutriente seja um dos que mais limita a produtividade. Por isso, geralmente é necessário fornecer N às plantas para aumentar a produtividade e lucratividade da cultura (Braun et al 2013).

Em relação a outras culturas, o feijão-caupi, por ser leguminosa, se beneficia da associação simbiótica com o rizóbio para a fixação biológica do N (FBN). Para as leguminosas, as fertilizações nitrogenadas deveriam fornecer o N em quantidade suficiente para suprir a diferença entre a necessidade da planta e a quantidade de N fornecida pelo solo e pela FBN, porém, a predição das quantidades de N que o solo e a FBN podem fornecer à cultura é de difícil estimação (Araújo et al., 2009). Nesse sentido, estudos têm sido realizados com o objetivo de reduzir o fornecimento de adubos nitrogenados às plantas. Uma das abordagens que vem sendo testada é a associação da adubação nitrogenada com a molíbdica especialmente se rizóbio eficiente estiver presente no solo.

2.3 Molibdênio

O molibdênio (Mo) é outro nutriente indispensável para o desenvolvimento das plantas. O Mo é o micronutriente exigido em menor quantidade para o desenvolvimento das plantas. No entanto, sua deficiência é tão prejudicial quanto a falta de um macronutriente, sobretudo por ter influência marcante no metabolismo do N (Taiz e Zeiger, 2009). Nos sistemas biológicos a função mais importante do Mo está relacionada com o metabolismo do N, sobretudo com a atuação da enzima nitrogenase, responsável pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), e da enzima nitrato redutase (CE 1.6.6.1), que participa da redução do nitrato (N-NO₃) a nitrito (N-NO₂) (Fageria et al., 2011; Marschner, 2012) o Mo também é constituinte das enzimas sulfito oxidase (EC 1.8.3.1), xantina desidrogenase (CE 1.17.1.4) e aldeído oxidase (CE 1.2.3.1) (Mendel e Bittner, 2006).

Esse nutriente é considerado essencial para as plantas, por ser componente da enzima nitrato redutase, responsável pela redução do nitrato em nitrito no citoplasma celular e, da nitrogenase, responsável pela redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) (Rubio e Ludden, 2008). Além dessas enzimas de grande importância para as plantas, o Mo também atua nas enzimas xantina oxidase e aldeído oxidase, que têm influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos (Mendel, 2011). Por isso, em solos deficientes em Mo, a adubação com adubo molíbdico pode trazer aumentos expressivos na produtividade do feijão-comum (Pessoa et al., 2000).

O pH do solo e os óxidos de Alumínio e Ferro influenciam a disponibilidade de Mo para as plantas (Tisdale et al., 1993). Ao contrário dos outros micronutrientes, a disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH. Recentemente, Sapucay et al. (2016) conduziram ensaios na Zona da Mata, em solos com pH entre 5,4 e 5,8 e com população nativa de rizóbio. Verificaram que a aplicação de Mo no feijoeiro associado ao uso de 40 kg/ha de N no plantio é capaz de suprir a planta com N até produtividades de 3000 kg ha⁻¹. Dada a importância desse nutriente e a carência dele no solo, o Mo é fornecido às plantas para suprir ou corrigir as necessidades vitais das plantas. Na prática, havendo deficiência de Mo, pouco N é fixado nos nódulos da raiz, o nitrato absorvido não é efetivamente usado pela planta e a planta é mais sujeita a estresses bióticos e abióticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís (2°30'S, 44°18'W, altitude de 24 m) entre maio e agosto de 2019. O clima da região é do tipo AW', equatorial quente úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a julho, e outra seca, com acentuado déficit hídrico, que se estende de julho a dezembro. As precipitações variam de 1700 mm a 2300 mm por ano e ~80% concentra-se entre janeiro e junho. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). As características físico-químicas na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento, foram: pH CaCl₂ = 4,5; matéria orgânica = 4,3 g dm⁻³; P = 3 mg dm⁻³; K = 1,7 mmolc dm⁻³; Ca = 13 mmolc dm⁻³; Mg = 4,5 mmolc dm⁻³; H + Al³⁺ = 15 mmolc dm⁻³; soma de base = 23,5 cmolc dm⁻³; CTC = 44,5 cmolc dm⁻³; V = 52,8%; areia grossa = 410 g kg⁻¹; areia fina = 450 g.kg⁻¹; e silte = 40 g.kg⁻¹. As características climáticas durante a condução do experimento são apresentadas na Figura 1.

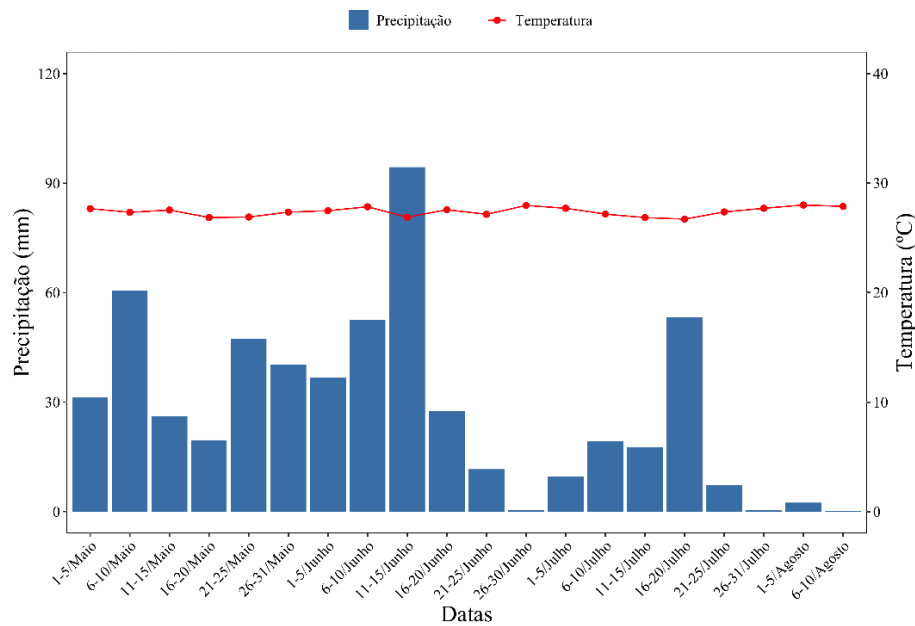


Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média durante o período de condução do experimento com feijão-caupi em São Luís - MA, em 2019 (INMET, 2021).

3.1 Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 4 x 2: doses de Mo aplicadas na folhagem (0, 50, 250 ou 500 g ha⁻¹) e doses de N em cobertura (0 ou 50 kg ha⁻¹). A dose de 50 kg ha⁻¹ de N foi aplicada aos 15 dias após a emergência (DAE). O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da planta. Em seguida, esse sulco foi coberto com uma camada de terra para minimizar a volatilização. A fonte de N foi ureia (45% de N). As doses de Mo foram parceladas nestas fases de desenvolvimento do feijão-caupi: 30 DAE – final do estágio vegetativo, 45 DAE – floração e 60 DAE - formação de vagens. A fonte de Mo foi o molibdato de sódio (Na₂MoO₄.2H₂O). A dose de 50 g ha⁻¹ de Mo foi aplicada aos 30 DAE. Na dose de 250 g ha⁻¹ de Mo, foram aplicados 50 g ha⁻¹ aos 30 DAE e 200 g ha⁻¹ aos 45 DAE. Na dose de 500 g ha⁻¹ de Mo, 50 g ha⁻¹ foram aplicados aos 30 DAE; 250 g ha⁻¹, aos 45 DAE; e 200 g ha⁻¹, aos 60 DAE. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,60 m. Foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco. As duas fileiras laterais foram consideradas bordadura. Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Guariba.

3.2 Instalação e condução do experimento

Na área experimental, a vegetação predominante foi eliminada por meio de uma roçadeira manual com antecedência de cinco dias do plantio. Após a roçagem, a palhada da área experimental foi deixada sobre a superfície do solo, que não recebeu nenhum preparo para a semeadura, conforme fazem os agricultores da região. Na adubação de plantio, todos os tratamentos receberam 350 kg ha^{-1} do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O). O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual, quando necessário. As plantas foram irrigadas por fitas gotejadoras com lâmina de água de 6 mm para complementar as chuvas.

3.3 Características avaliadas

Na fase de colheita, foi realizada a contagem de todas as plantas na área útil de $4,8 \text{ m}^2$ para determinar o estande final, bem como os componentes da produtividade (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 sementes) e a produtividade de sementes. A produtividade e a massa de 100 sementes foram padronizadas para 130 g kg^{-1} de água.

Para quantificar o teor de Mo nas sementes, amostras de 0,5 g do material vegetal seco foram submetidas a digestão nitroperclórica. Após digestão, o teor de Mo da semente foi determinado por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES, modelo 9820, Shimadzu, Kyoto, Japão), conforme metodologia descrita em Vieira et al. (2014). Os conteúdos de Mo da semente foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente pela massa média de uma semente seca.

3.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O teste F foi usado para comparar as médias das variáveis dependentes afetadas pelas doses de N. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias das variáveis dependentes afetadas pelas doses de Mo. Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software R (R Core Team, 2021).

4 RESULTADOS

A interação entre doses de Mo e doses de N foi altamente significativa em relação à produtividade de grãos, muito altamente significativa sobre o teor de Mo na semente e altamente significativa sobre o conteúdo de Mo na semente (Tabela 1). Nas doses 0 e 50 g ha⁻¹ de Mo, a produtividade das plantas que receberam N em cobertura foi 54,5% e 35,3% maior que a produtividade das plantas que não receberam N em cobertura (Figura 2a). Nas doses de 250 e 500 g ha⁻¹ de Mo, as doses de N não influenciaram significativamente a produtividade. Sem N, a média da produtividade das plantas que receberam 500 g ha⁻¹ de Mo foi 2,5 vezes maior que a média da produtividade das plantas que não receberam Mo. Com N, a média da produtividade das plantas que receberam 50, 250 e 500 g ha⁻¹ de Mo foi 54% maior que a média da produtividade das plantas que não receberam Mo (Figura 2a).

Tabela 1 - Valor de P para as variáveis produtividade de grãos, teor e conteúdo de Mo na semente e componentes da produtividade em resposta à aplicação de doses de Mo aplicadas na folhagem, doses de N aplicadas em cobertura e da interação entre esses fatores. CV (%) = coeficiente de variação.

Variáveis	Doses de Mo(g ha ⁻¹)	Nitrogênio(kg ha ⁻¹)	Mo xN	CV(%)
Produtividade de grãos	<0,001	0,009	0,006	12,1
Teor de Mo na semente	<0,001	<0,001	<0,001	6,4
Conteúdo de Mo na semente	<0,001	<0,001	0,006	9,9
Número de vagens por planta	<0,001	0,188	0,153	15,2
Estande final	0,683	0,572	0,333	11,3
Número de sementes por vagem	0,088	0,999	0,069	20,3
Massa de 100 sementes	0,129	0,362	0,178	4,8

Os teores de Mo na semente (Fig. 2b) em resposta às doses de Mo e N apresentaram tendência semelhante às verificadas para os conteúdos de Mo na semente (Fig. 2c). A diferença entre o teor e conteúdo de Mo na semente deveu-se a pequenas diferenças na massa de 100 sementes entre os tratamentos (Tabela 1). Nas doses de 0, 50 e 250 g ha⁻¹ de Mo, o conteúdo de Mo nas sementes das plantas que receberam N em cobertura foi 5,3 vezes, 41% e 20% maior, respectivamente, que o conteúdo de Mo na semente das plantas que não receberam N em cobertura (Figura 2c). As doses de N não influenciaram significativamente o conteúdo de Mo na semente quando foi aplicado 500 g ha⁻¹ de Mo (Figura 2c). Sem N, a média do conteúdo de Mo na semente das plantas que receberam 500 g ha⁻¹ de Mo foi 32,6 vezes maior que a média do conteúdo de Mo na semente das plantas que não receberam Mo (Figura 2c). Com N, a média

do conteúdo de Mo na semente das plantas que receberam 250 e 500 g ha⁻¹ de Mo foi 5,5 vezes maior que a média do conteúdo de Mo na semente que não receberam o Mo (Figura 2c).

A interação entre doses de Mo e doses de N não foi significativa quanto ao número de vagens por planta (Tabela 1). As doses de N não influenciaram significativamente, e o efeito das doses de Mo foi muito altamente significativo sobre o número de vagens por planta (Tabela 1). O número de vagens por planta quando se aplicou Mo (independentemente da dose) foi 52% maior que na ausência de Mo (Figura 2d). Doses de Mo, doses de N e a interação entre esses fatores não foi significativa quanto ao estande final (média de 12,5 plantas m⁻², n = 32) e massa de 100 sementes (média de 21,1 g, n = 32) (Tabela 1). A interação entre doses de Mo e doses de N, e doses de Mo foram marginalmente significativas quanto ao número de sementes por vagem (Tabela 1). As doses de N não influenciaram significativamente o número de sementes por vagem (Tabela 1).

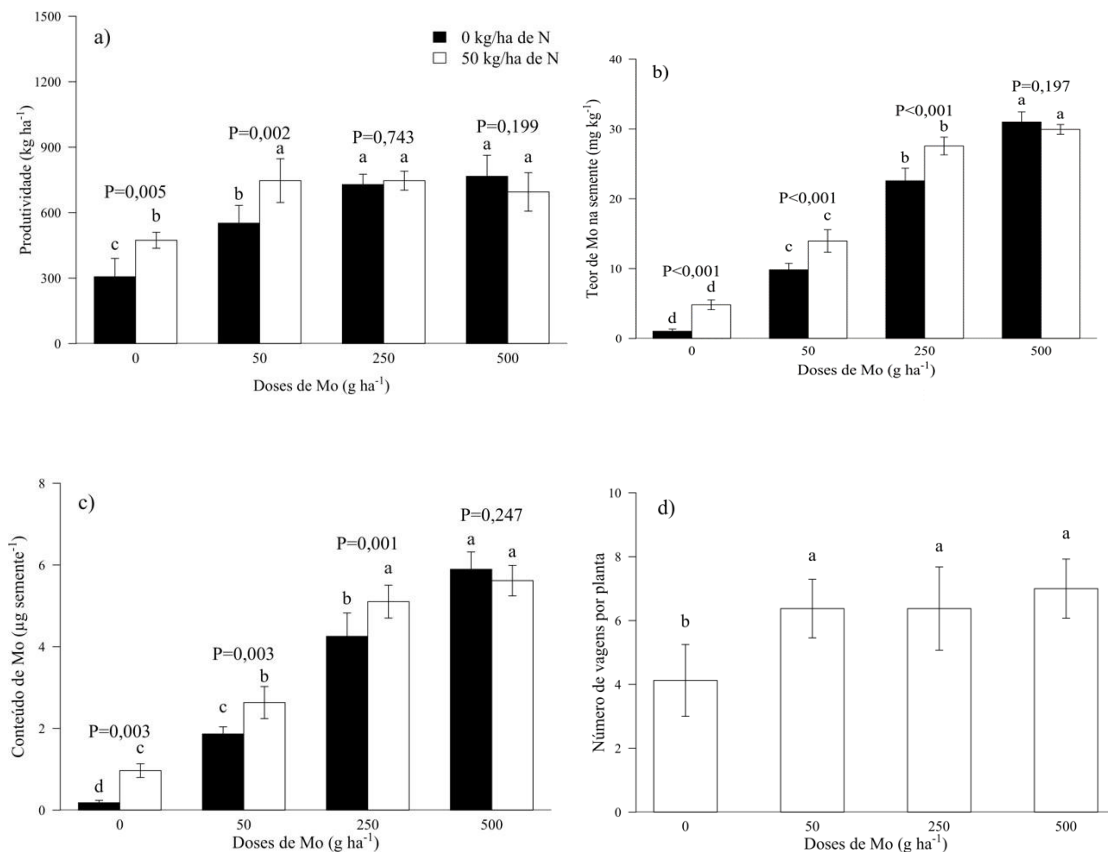


Figura 2 – Interação entre doses de Mo aplicadas na folhagem (g ha⁻¹) e doses de N em cobertura (kg ha⁻¹) sobre a (a) produtividade de grãos, (b) teor de Mo na semente, (c) conteúdo de Mo na semente (n=4) e os efeitos das doses de Mo sobre o (d) número de vagens por planta (n=8). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Tukey. As médias das variáveis dependentes afetadas pelas doses de N foram comparadas pelo teste F. Foi usado o nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio-padrão.

5 DISCUSSÃO

A maior produtividade média de grãos obtida neste ensaio foi de 766,51 kg ha⁻¹ valor maior que à média de 483 kg ha⁻¹ obtida na região. Esse resultado representa 1,59 vezes a mais na produtividade de grãos, principalmente em razão do aumento do número de vagens por planta.

Nossa hipótese foi que a adubação nitrogenada em cobertura aumenta o conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi. O N aplicado em cobertura aumentou o conteúdo de Mo na semente até a dose de 250 g ha⁻¹ de Mo. A maior área foliar das plantas adubadas com N (Adibeh et al., 2021) deve ter proporcionado a planta captar mais Mo pulverizado na folhagem, isso pode explicar pelo menos parcialmente, esse efeito do N aplicado em cobertura no aumento do conteúdo de Mo na semente.

Em estudo conduzido em Minas Gerais para produzir sementes ricas em Mo foi relatado que o conteúdo de Mo na semente das plantas que receberam 850 g ha⁻¹ de Mo foi 142 vezes maior que o conteúdo de Mo na semente das plantas que não receberam aplicação de Mo na folhagem (Barbosa et al., 2021). Neste trabalho foram utilizadas 3 doses de Mo aplicados via foliar, no entanto a dose 250 g ha⁻¹ de Mo parece ser uma dose ótima para produzir sementes de feijão-caupi ricas em Mo e atingir ~5 µg semente⁻¹ de Mo, uma vez que a dose 500 g ha⁻¹ de Mo não diferiu significativamente quanto ao conteúdo de Mo nas sementes.

CONCLUSÃO

Nossos resultados sugerem que a aplicação de N em cobertura aumenta o conteúdo de Mo na semente quando as plantas de feijão-caupi são pulverizadas com doses de até 250 g ha⁻¹ de Mo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelos recursos financeiros disponibilizados para a execução do projeto e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adibeh Etminani, Khosro Mohammadi & Seyed Farhad Saberli (2021): Effects of fertilizer on growth and yield of red beans under competition conditions with *Amaranthus retroflexus*, *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167.2021.1952224
- Aguiar, A.C.F.; Bicudo, S.J.; Costa Sobrinho, J.R.S.; Martins, A.L.S.; Coelho, K.P.; Moura, E.G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v.86, p.189- 198, 2010.
- Aguiar, A.C.F.; Cândido, C.S.; Carvalho, C.S.; Monroe, P.H.M.; Moura, E.G. Organic matter fraction and pool of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. *Ecological Indicators*, v.30, p.158-164, 2013.
- Albino, U.B.; Campo, R.J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência de *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.03, p. 527-534, 2001.
- Araújo, P.R. de A.; Araujo, G.A. de A.; Rocha, P.R.R.; Carneiro, J.E. de S. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro-comum. *ActaScientiarum. Agronomy*, v.31, n.2, p.227-234, 2009.
- Ascoli, A. A.; Soratto, R. P.; Maruyama, W. I. aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. *Bragantia*, Campinas-SP, v. 67, n. 2, p. 377-384, 2008)
- Barbosa filho, m. p.; fageria, n. k.; silva, o. f. aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado. *embrapa*, 8 p, 2001.
- Barbosa, E.P.A.; Sodré, D.N; Braun H.; Vieira, R.F. Seeds enriched with molybdenum improve cowpea yield in sub-humid tropical regions of Brazil. *Agronomy Journal*. 2021;1–10.
- Berger, P.G.; Vieira, C.; Araújo, G.A. de A. Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.473-480, 1996.
- Brasil. Ministério da Agricultura e reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília-DF: Departamento Nacional de Produção Vegetal - SNA/DNPV/CLAV, 399p., 2009.
- Braun, Heder et al. Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio nas plantas de batata. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.
- Brodrick, S.J.; Amijee, F. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* in the tropics. *Tropical Agriculture*, v.72, n.4, p.277-284, 1995.
- Caíres, E.F.; Rosolem, C.A. Nodulação e absorção de nitrogênio pelo amendoim em resposta à calagem, cobalto e molibdênio. *Scientia Agricola*, v.57, n.02, p.337-341, 2000.

Campo, R.J.; Araujo, R.S.; Hungria, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*, v. v. 110, n. 3, 219-224, 2009.

Chen J, Liu L, Wang Z, Zhang Y, Sun H, Song S, Bai Z, Lu Z and Li C (2020) Nitrogen Fertilization Increases Root Growth and Coordinates the Root–Shoot Relationship in Cotton. *Front. Plant Sci.* 11:880. doi: 10.3389/fpls.2020.00880

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2019/2020, v.7 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-68. 2020.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 412p., 2013.

Fageria NK, Baligar VC, Jones CA. Growth and mineral nutrition of field crops. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2011:560.

Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. ExpDes: Experimental Designs package, 2013. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/index.html>.

Freire filho, f. r.; lima, j. a. a.; ribeiro, v. q. (Ed.). Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 191-210, 2005.

Freire Filho, Francisco Rodrigues. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte-Livro científico (ALICE), 2011.

Gris, E.P.; Conte e Castro, A.M.; Oliveira, F.F. de. Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.151-155, 2005.

Hungria, M.; Franchini, J. C.; Campo, R. J.; Crispino, C. C.; Moraes, J. Z.; Sibaldelli R, N. R.; Mendes,I.C.; Arihara, J. Nitrogen nutrition of soybean in brazil: Contributions of biological N₂ fixation and n fertilizer to grain yield. *Canadian Journal Of Plant Science*, Ottawa, v. 86, p. 927-939, 2006.

Hungria, M.; Vargas, M. A. T.; Araujo, R. S. Fixação Biológica De Nitrogênio Em Feijoeiro. In: Vargas, M.A.T.; Hungria, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, Embrapa-Cpac, p.189- 294, 1997.

Hungria, M.; Vargas, M. A. T.; Araujo, R. S. Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. in: Vargas, M.A.T.; Hungria, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, Embrapa-Cpac, p.189- 294, 1997.

Inskeep, W.P.; Bloom, P.R. Extinction coefficients chlorophyll a e b in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology*, v.77, p.483-485, 1985.

Jacob-Neto, J.; Franco, A.A. Adubação de molibdênio em feijoeiro. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1986. 4p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 12).

Jacob-Neto, J.; Rossetto, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, v.5, n.1, p.171-183, 1998.

- Keller, G.D.; Mengel, D.B. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Science Society of America Journal*, v. 50, n. 4, p. 1060-1063, 1986.
- Kusdra, J.F. Nodulação do feijoeiro e fixação biológica do nitrogênio em resposta à microbiolização das sementes e à aplicação de micronutrientes. *Scientia Agraria*, v. 4, n. 1-2, p. 96, 2003.
- Lara, W. A. R.; Trivelin, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de nh_3 volatilizado para ureia aplicada ao solo. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.
- Leite, L.F.C.; Araújo, A.S.F. de; Costa, C. do N.; Ribeiro, A.M.B. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.4, p.492-497, 2009.
- Leite, U.T.; Araújo, G.A. de A.; Miranda, G.V.; Vieira, R.F.; Carneiro, J.E. de S.; Pires, A.A. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n.1, p.113- 120, 2007.
- Liu W, Wang J, Wang C, Ma G, Wei Q, Lu H, Xie Y, Ma D and Kang G (2018) Root Growth, Water and Nitrogen Use Efficiencies in Winter Wheat Under Different Irrigation and Nitrogen Regimes in North China Plain. *Front. Plant Sci.* 9:1798. doi:10.3389/fpls.2018.01798
- Lopes, J.F., Coelho, F.C., Rabello, W.S., Rangel, O.J.P., Gravina, G. de A., Vieira, H.D. Produtividade e composição mineral do feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. *Revista Ceres*, v.63, n.3, p.419-426, 2016.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. (2 ed.). Academic Press. 1995. 889p.
- Marschner, P. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 2012.
- Matsui, T.; Singh, B.B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. *Experimental Agriculture*, v.39, p.29-38, 2003.
- Mendel, R.R. Cell biology of molybdenum in plants. *Plant Cell Reports*, v,30, n.10, p.1787-1797, 2011.
- Mendel, R.R.; Bittner. Cell biology of molybdenum. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.1763, p.621–635, 2006.
- Moll R.H.; Kamprath, E.J.; Jackson, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, v.74, p.562-564, 1982.
- Pacheco, R.S.; Brito, L.F.; Staliotto, R.; Pérez, D.V.; Araújo, A.P. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*, v.136, p.97-106, 2012.
- Pessoa, A.C.S.; Ribeiro, A.C.; Chagas, J.M.; Cassini, S.T.A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p. 75-84, 2000.

Quaggio, J.A.; Gallo, P.B.; Owino-Gerroh, C.; Abreu, M.F.; Cantarella, H. Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.04, p.659-664, 2004.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

Raij, B. Neto, J van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.

Rubio, L.M.; Ludden, P.W. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annual Review Microbiology*, v.62, p.93-111, 2008.

Sapucay, M.J.L. da C., Vieira, R.F., Carneiro, J.E. de S., Paula Junior, T.J. de, Lima, M.S. de, Vieira, R.F. Vidigal, S.M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen? *Journal of Plant Nutrition*, v.39, n.11, p.1644–1653, 2016.

Soratto, r. p.; arf, o.; rodrigues, r. a. f.; buzetti, s.; silva, t. r. b. resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. *acta scientiarum: agronomy, maringá*, v. 25,n. 1, p. 89-96, 2003.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 819p., 2009.

Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

Teófilo, E.M.; Dutra, A.S.; Pitimbeira, J.B.; Dias, F.T.C.; Barbosa, F. de S. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.03, p.443-448, 2008.

Thorburn, P. J.; Biggs, J. S.; Webster, A. J.; Biggs, I. M. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. *Plant and Soil*, The Hague, v.339, n. 1-2, p. 51-67, 2011.

Tisdale, S.M.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; Havlin, J.L. *Soil fertility and fertilizers*. 5.ed. New York, Macmillan Publishing Company, 1993. 634p.

Van Schoonhoven, A.; Pastor-Corrales, M.A. Standard system for the evaluation of bean germoplasm. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, 1987.

Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. de; Carneiro, J.E. de S.; Queiroz, M.V. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.205-213, 2014.

Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J. de; Prado, A.L. do; Araújo, R.F.; Lehner, M. da S.; Silva, R.A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Revista Ceres*, v.62, n.4, p.415-419, 2015.

Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J.; Pires, A.A.; Carneiro, J.E.S.; Rocha, G.S. Common beans seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal*, v.103, n.6, p.1843-1848, 2011.

Vieira, R.F.; Salgado, L.T.; Ferreira, A.C.C. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, v.28, p.393-377, 2005.