



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

MYRELLA KATLHEN DA CUNHA DE ARAUJO

MOLIBDÊNIO APLICADO NA FOLHAGEM AUMENTA O CONTEÚDO  
DO MICRONUTRIENTE NAS SEMENTES OBTIDAS NAS COLHEITAS

São Luís/MA

2024

MYRELLA KATLHEN DA CUNHA DE ARAUJO

Engenheira Agrícola

**MOLIBDÊNIO APLICADO NA FOLHAGEM AUMENTA O  
CONTEÚDO DO MICRONUTRIENTE NAS SEMENTES OBTIDAS NAS  
COLHEITAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

São Luís/MA

2024

Araujo, Myrella Katlhen da Cunha de

Molibdênio aplicado na folhagem aumenta o conteúdo do micronutriente nas sementes obtidas nas colheitas / Myrella Katlhen da Cunha de Araujo. – São Luis, MA, 2024.

38 f

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

1. *Vigna unguiculata*. 2. Teor de molibdênio na semente. 3. Produtividade.  
I. Título.

CDU: 631.53.02

**MYRELLA KATLHEN DA CUNHA DE ARAUJO**

**MOLIBDÊNIO APLICADO NA FOLHAGEM AUMENTA O  
CONTEÚDO DO MICRONUTRIENTE NAS SEMENTES OBTIDAS NA  
PRIMEIRA COLHEITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

Aprovado em: 06 / 03 / 2024

BANCA EXAMINADORA:



**Prof. Dr. Heder Braun (Orientador)**

Orientador Doutor em Fitotecnia/ UEMA

 **ROGERIO FARIA VIEIRA**  
Data: 06/03/2024 16:47:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Rogério Faria Vieira**

Doutor em Fitotecnia/ UEMA

 Documento assinado digitalmente  
**JOAO BATISTA ZONTA**  
Data: 06/03/2024 16:53:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**João Batista Zonta**

Doutor em Fitotecnia/ Embrapa Cocais

*“Entrega o teu caminho ao Senhor;  
confia nele,  
e ele tudo fará”.*

Salmos 37:5

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, elevo minha gratidão ao Criador de todas as coisas, Deus, por ser a luz no meu caminho e a força que me move todos os dias, guiando-me com Sua sabedoria e amor incondicional.

À minha querida mãe, Cleam Alves, minha eterna fonte de inspiração e amor. Sua força, determinação e apoio inabalável foram meu alicerce durante esta jornada. Agradeço por cada sacrifício, cada palavra de encorajamento e por sempre acreditar em mim.

À minha irmã, Victória, agradeço por ser minha amiga, confidente e por sempre trazer alegria e leveza aos meus dias. Ao meu padrasto, Alan, agradeço por ser um pilar de apoio, e por sempre estar presente quando eu mais precisava.

Ao meu amado, Tarcísio Bezerra, minha gratidão por ser meu parceiro, meu porto seguro e por compartilhar sonhos, desafios e vitórias comigo. Seu amor e paciência foram meu refúgio e sua fé em mim, minha motivação.

Expresso minha sincera gratidão à Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), que foi o palco desta jornada acadêmica, proporcionando conhecimento e crescimento.

Aos funcionários da UEMA, Francisco Neto, Jade, Espedito, Rayanne e Amélia, meu muito obrigada por tornarem minha trajetória acadêmica mais leve e suporte.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa em Feijão da PPGA, agradeço pela parceria, troca de conhecimentos e pelos momentos compartilhados na construção desta pesquisa.

As pesquisadoras GB4, Maria Francisca, Keila Diovana e Késia, agradeço pela colaboração, trabalhos produzidos e por todos os momentos alegres e de apoio.

À Embrapa Cocais, e em especial ao Analista João Batista Zonta, minha gratidão pela parceria, apoio a pesquisa e oportunidades de aprendizado.

Ao CNPq, agradeço pela concessão da bolsa de mestrado, que foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Heder Braun, minha gratidão por guiarem meus passos acadêmicos com maestria, paciência e sabedoria. Agradeço por cada correção, ensinamento e por acreditarem no meu potencial.

Aos professores Christoph Gehring, Camila Nobre, Thais Roseli e Altamiro Ferraz, agradeço pelos ensinamentos e por contribuírem para minha formação acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada, meu mais sincero obrigado. Este trabalho é também de vocês.

## RESUMO

O feijão-caupi contribui para a segurança alimentar e a economia agrícola Maranhense. O molibdênio (Mo) contribui no metabolismo do feijão-caupi e influencia diretamente a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Nosso objetivo foi testar a hipótese que as sementes de feijão-caupi originadas da primeira colheita podem acumular mais Mo na semente em comparação às da segunda colheita. Além disso, indicar os níveis de Mo aplicados na folhagem para enriquecimento das sementes com o micronutriente. Foram realizados dois ensaios em campo em São Luís: um em 2022 e outro em 2023. Foram aplicados cinco níveis de Mo (0, 50, 100, 200 ou 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo) na folhagem, na forma de molibdato de sódio (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. O conteúdo de Mo das sementes colhidas da primeira colheita foi 10,6% maior que o conteúdo de Mo das sementes obtidas da segunda colheita. A produtividade média foi de 1.056 ± 52 kg ha<sup>-1</sup> no ensaio de 2022 e de 1.220 ± 32 kg ha<sup>-1</sup> no ensaio de 2023. O nível de 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo aplicado na folhagem proporciona aumento da produtividade. As plantas que receberam os níveis de 100, 200 e 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo produziram 36,1% mais sementes que as plantas que não receberam Mo na folhagem. Logo, nossos resultados mostram que o Mo acumula mais nas sementes de feijão-caupi da primeira colheita quando comparado com as sementes da segunda colheita. Esses resultados podem melhorar o sistema de produção de sementes de feijão-caupi para o agricultor familiar, onde as sementes da primeira colheita podem ser destinadas ao cultivo (semente) e as da segunda colheita podem ser destinadas à alimentação (grão).

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*; teor de molibdênio na semente; produtividade.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 Feijão-caupi</b> .....	12
<b>2.2 Molibdênio: micronutriente essencial as plantas</b> .....	13
<b>2.3 Aplicação, absorção e transporte de molibdênio no feijoeiro</b> .....	14
<b>2.4 Enriquecimento de sementes com molibdênio</b> .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
<b>3.1 Local de estudo</b> .....	17
<b>3.2 Tratamentos e Delineamento experimental</b> .....	18
<b>3.3 Instalação e condução do experimento</b> .....	19
<b>3.4 Produtividade e seus componentes da produtividade</b> .....	20
<b>3.5 Teor e conteúdo de molibdênio das sementes</b> .....	21
<b>3.6 Análise estatística</b> .....	21
<b>4. RESULTADOS</b> .....	21
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	29
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é amplamente cultivado nas regiões tropicais e subtropicais, e exerce função essencial na nutrição e na economia das famílias dos agricultores dessas regiões. Os grãos dessa cultura são considerados alimento básico na dieta de muitas famílias, e podem ser consumidos por humanos como grãos secos ou verdes, e por animais na forma de forragens, feno, silagem e farinha (Freire Filho *et al.*, 2005; Sousa; Zonta, 2022).

No mundo, os dois maiores produtores de feijão-caupi são: Nigéria, com 2,7 milhões de toneladas, e o Níger, com 1,1 milhão de toneladas (FAOSTAT, 2023). O Brasil na safra de 22/23 produziu 561 mil toneladas de feijão-caupi. Neste período, a média de produtividade foi de 466 kg ha<sup>-1</sup>. O Distrito Federal obteve a maior produtividade, com 1.355 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto Pernambuco registrou a menor produtividade, com 316 kg ha<sup>-1</sup>. O Maranhão apresenta produtividade de 604 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023).

A baixa produtividade de feijão-caupi no Norte e Nordeste é devido ao baixo nível tecnológico empregado na cultura (Vieira de Sá, 2019), uso de sementes não melhoradas, cultivo em solos de baixa fertilidade, teores reduzidos de matéria orgânica (Guimarães *et al.*, 2021; Souza; Marques Filho *et al.*, 2021; Martins; Pedrosa, 2021; Nascimento *et al.*, 2011) e irregularidade pluviométrica (Guimarães *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2011).

Os solos do Maranhão apresentam baixa retenção de cátions, são de natureza ácida e de baixa disponibilidade dos nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Aguiar *et al.*, 2013). Estratégias para aumentar a produtividade do feijão-caupi são essenciais para o desenvolvimento do cultivo nessas regiões. Alguns estudos demonstram a capacidade do molibdênio (Mo) em elevar a produtividade do feijoeiro, Amane *et al.* (1996) evidenciaram que níveis de 70 a 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo aplicadas na folhagem incrementou de 90% a 200% a produtividade quando comparada ao controle. Com nível inferior, Amane *et al.* (1994) demonstraram que 20 g ha<sup>-1</sup> de Mo incrementou em 29% a produtividade. Ascoli, Soratto e Maruyama (2008) com nível de 101,2 g ha<sup>-1</sup> de Mo observaram incremento de 9,8%; Torres *et al.* (2014) com nível de 120 g ha<sup>-1</sup> de Mo, incremento de 11,5%; e Melo Filho *et al.* (2011) com nível de 126 g ha<sup>-1</sup> de Mo, incremento de 66,9%.

O Mo é exigido em pequenas quantidades para o crescimento das plantas. Esse micronutriente atua como cofator em várias enzimas essenciais ao metabolismo nitrogenado das plantas. É cofator da nitrogenase, que catalisa a redução do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em amônia (NH<sub>3</sub>) nos nódulos radiculares das leguminosas, e da enzima nitrato redutase, enzima que facilita a conversão do nitrato (N-NO<sub>3</sub>) em nitrito (N-NO<sub>2</sub>) (SCHWARZ *et al.*, 2009). Ainda, atua na oxidase de aldeído, oxidase de sulfato e oxidase de xantina (Kisker;

Schindelin; Rees, 1997). O Mo mesmo em quantidades reduzidas também contribui para a formação de hormônios (Kisker; Schindelin; Rees, 1997).

O fornecimento de Mo às plantas pode ser realizado através de pulverização foliar (Vieira *et al.*, 2016, 2015, 2005), imersão de sementes em solução aquosa (Majda *et al.*, 2019), aplicação via solo (Bassan *et al.*, 2001) ou por sementes enriquecidas (Vieira *et al.*, 2015, Barbosa *et al.*, 2021). Contudo, a aplicação foliar de Mo é mais eficaz que a aplicação via solo, pois requer menor quantidade do micronutriente (VIEIRA *et al.*, 2014) e, quando aplicado nas folhas, pode ser rapidamente absorvido e translocado para os nódulos, melhorando a fixação biológica do N e, conseqüentemente, a produtividade (Moraes *et al.*, 2008).

O Mo aplicado na folhagem de forma fracionada nas fases vegetativas e reprodutivas favorece o enriquecimento das sementes do feijoeiro (Vieira *et al.*, 2015; Prado *et al.*, 2023). O enriquecimento das sementes de feijão-comum pode ser feito com níveis de Mo que pode variar de 240 (Almeida *et al.*, 2013) a 4000 g ha<sup>-1</sup> (Vieira *et al.*, 2011), sem causar toxicidade às plantas. Com o progresso na tecnologia de produção de sementes enriquecidas com Mo, as plantas de feijoeiro podem ser pulverizadas na fase vegetativa e reprodutiva. Na fase reprodutiva pode ser aplicada mais de uma pulverização, cada uma com nível de 600 g ha<sup>-1</sup> de Mo (Prado *et al.*, 2023). Esta quantidade é maior do que os níveis comumente utilizadas (70 a 100 g ha<sup>-1</sup>) para prevenir ou corrigir a deficiência de Mo no solo (Berger *et al.*, 1996). É importante destacar que Amane *et al.* (1994), Vieira *et al.* (1992) e Sapucay *et al.* (2016) concluíram que o Mo aplicado na folhagem do feijoeiro pode até mesmo substituir a adubação em cobertura de N, na região da Zona da Mata de Minas Gerais. Logo, o Mo aplicado na folhagem pode ser alternativa sustentável para aumentar a produtividade das plantas e o conteúdo de Mo na semente de feijão-caupi no trópico úmido maranhense.

O feijão-caupi é uma espécie que apresenta crescimento indeterminado (Xavier *et al.*, 2007), característica que possibilita a realização de múltiplas colheitas em um único ciclo de cultivo. Na agricultura familiar, comumente são realizadas duas ou três colheitas, conforme as vagens amadurecem (Freire Filho *et al.*, 2017). Plantas de feijão-caupi, da variedade BRS Guariba, que receberam na folhagem os níveis de 0, 250 e 850 g ha<sup>-1</sup> de Mo produziram sementes com 0,014; 0,674 e 1,987 µg de Mo semente<sup>-1</sup> na primeira colheita e 0,023; 0,538 e 1,827 µg de Mo semente<sup>-1</sup> na segunda colheita (Barbosa *et al.*, 2021).

Não se conhece ainda se, no processo de produção da semente, esse conteúdo pode variar de uma colheita para outra, ou seja, as sementes da primeira colheita podem ter maior conteúdo de Mo que as sementes da segunda colheita, e assim por diante. Logo, não há

estudos na literatura que mencionem se o conteúdo de Mo da semente é influenciado pela colheita quando as plantas são cultivadas em solos de baixa fertilidade natural e sob altas temperaturas. Também, não há estudos que indicam os níveis de Mo aplicados na folhagem de plantas cultivadas sob essas condições para elevar a produtividade do feijoeiro. Nosso objetivo foi testar a hipótese que as sementes de feijão-caupi originadas da primeira colheita podem apresentar maior conteúdo de Mo em comparação com as da segunda colheita. Além disso, indicar os níveis de Mo aplicados na folhagem para enriquecimento das sementes com o micronutriente.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi, leguminosa essencial na dieta humana, é conhecido por diversos nomes, como feijão-macassa, feijão-de-corda e feijão-miúdo (Correa *et al.*, 2012). Sua taxonomia botânica sofreu diversas modificações ao longo dos anos. Originalmente classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichos*, o feijão-caupi foi atribuído ao gênero *Vigna* em 1894. Atualmente, é identificado como *Vigna unguiculata* (L.) Walp., subespécie *unguiculata*, que se divide em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (EMBRAPA, 2023).

Originário da África, o feijão-caupi foi introduzido nas Américas no século XVII por colonizadores espanhóis e está associado ao tráfico transatlântico de escravos (Freire Filho, 1988). No Brasil, registros datam do século XVI pelos colonizadores portugueses, com as primeiras plantações estabelecidas na Bahia. No entanto, a espécie é prevalente na região Nordeste (EMBRAPA, 2023).

A arquitetura da planta de feijão-caupi é determinada pela interação de diversos fatores, como hábito de crescimento, comprimento do hipocótilo, do epicótilo, dos entre-nós, dos ramos principal e secundários, pedúnculo das vagens, disposição dos ramos laterais em relação ao ramo principal e a consistência dos ramos (Ribeiro, 2002).

A cultura do feijão-caupi é versátil em termos de adaptação a diferentes tipos de solo, como várzea e terra firme. No entanto, seu desenvolvimento ótimo ocorre em solos leves, profundos, bem drenados e com níveis médios a elevados de fertilidade. Até mesmo solos com baixa fertilidade, contanto que corretores e fertilizantes sejam aplicados adequadamente (Oliveira *et al.*, 2019). Além do cultivo solteiro, o feijão-caupi pode ser integrado em sistemas de cultivos múltiplos, como o consórcio e a rotação de culturas (Oliveira *et al.*, 2019).

O feijão-caupi possui características desejáveis, tais como, elevado teor proteico, fibras alimentares, minerais antioxidantes, ferro (Fe), zinco (Zn) e baixo teor de lipídios (Oliveira *et al.*, 2021). É consumido principalmente na forma de grãos secos cozidos, mas também pode ser desfrutado como grãos verdes (Freire Filho; Costa, 2020).

Embora a produção de grãos para a alimentação humana seja o propósito principal do cultivo de feijão-caupi, as leguminosas possuem características vantajosas para servirem como forragem em sistemas de criação de ruminantes, como bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos. Elas apresentam uma produção razoável de biomassa, teores elevados de proteína bruta, alta digestibilidade e palatabilidade, além de representarem baixo risco de toxidez (Cardoso *et al.*, 2017).

Nos estados do Amazonas, Maranhão, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, o feijão-caupi predomina quase exclusivamente nas áreas agrícolas (Maia, 1996). Tanto a produção quanto a comercialização do feijão-caupi estão concentradas nas proximidades dos centros urbanos. Devido à natureza intensiva em mão de obra de seu processo produtivo, especialmente na colheita e separação dos grãos, este mercado é predominantemente liderado pela agricultura familiar. As vagens verdes e grãos verdes a granel são comumente vendidos em feiras locais, enquanto os grãos verdes embalados encontram espaço em mercearias e supermercados. O produto ostenta preços atrativos e oferece uma oportunidade significativa para negócios, inclusive com a perspectiva de avanços no seu processamento industrial, como o enlatamento, resfriamento e congelamento (Freire Filho, 2011).

## 2.2 Molibdênio: micronutriente essencial as plantas

O Mo desempenha um papel vital como micronutriente para plantas, animais e microrganismos, pois é um componente essencial no núcleo de diversas enzimas. Para ser biologicamente ativo nas células, o Mo precisa ser associado a pterina, que origina o cofator de molibdênio (Moco). Tanto as enzimas Mo quanto o Moco estão presentes em todos os domínios da vida, com funções no metabolismo de compostos de N, enxofre (S) e carbono (C) (Mendel, 2022).

De uma perspectiva geral da obra de Mendel (2005), a importância do Mo para as plantas reside em sua função como cofator para enzimas que participam de processos metabólicos das plantas. Em organismos eucarióticos, plantas e animais, as principais enzimas que contêm molibdênio são: Sulfite oxidase - ajuda na degradação de aminoácidos que contêm S e na desintoxicação de sulfite. *Xanthine dehydrogenase* - atua na quebra de purinas e na produção de oxigênio reativo. *Aldehyde oxidase* - ajuda a oxidar aldeídos e é importante para a produção do ácido abscísico, hormônio vegetal. Em organismos autotróficos, como algumas plantas, também há a nitrato redutase (NR) (EC 1.6.6.1), essencial para a assimilação do N (Mendel, 2006).

Entre as enzimas mencionadas, a NR é especial para as plantas e ajuda a transformar o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Esta enzima é formada por três partes, Moco, citocromo b5 e FAD-binding, e duas dessas partes se juntam e compõem um dímero. Ou seja, dois monômeros da enzima NR se unem para formar a enzima ativa (Mendel, 2006).

Existem regiões chamadas "hinge I" e "hinge II" que separam esses domínios. Em algumas situações, essa enzima pode ser inibida por uma pequena mudança em uma de suas partes, chamada "hinge I". A principal tarefa da NR é usar elétrons para transformar  $\text{NO}_3^-$  em

$\text{NO}_2^-$ . Esses elétrons podem vir de duas fontes diferentes: NADH ou NADPH. Além de transformar  $\text{NO}_3^-$  em  $\text{NO}_2^-$ , a NR pode produzir uma substância chamada óxido nítrico (NO). O NO contribui no crescimento das plantas, protege contra danos e defesa contra doenças (Mendel, 2006).

Essas enzimas contribuem com o processo de assimilação de N pelas plantas, processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN). A FBN é fundamental para o crescimento das plantas, pois converte o nitrogênio atmosférico ( $\text{N}_2$ ) em amônia ( $\text{NH}_3$ ), assimilada pela planta (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Nesse processo, o Mo é adquirido pelas plantas na forma de molibdato, um ânion, e apesar da presença de outros ânions que competem pelos sistemas de transporte, as plantas possuem mecanismos específicos de captação que garantem uma absorção eficiente do molibdato. No entanto, o molibdato, por si só, não apresenta atividade catalítica em sistemas biológicos até que se associe ao cofator Moco (Mendel, 2005).

A deficiência de Mo nas plantas resulta em sintomas visíveis. Esses sintomas incluem clorose generalizada entre as nervuras e, nas folhas mais antigas, pode ocasionar necrose ou, em algumas espécies, encarquilhamento e morte foliar. Além disso, pode comprometer a formação de flores ou levar ao seu abortamento (Taiz *et al.*, 2017).

### **2.3 Aplicação, absorção e transporte de molibdênio no feijoeiro**

O Mo é um micronutriente facilmente transportado pelo xilema e floema das plantas. É necessário em pequenas quantidades e contribui com enzimas que catalisam processos como, a assimilação de N, manipulação de purinas, biossíntese hormonal e desintoxicação por sulfito (Prado *et al.*, 2023).

Assegurar o fornecimento de Mo possibilita otimizar a assimilação de N e promover o crescimento saudável do feijoeiro. No entanto, a disponibilidade de Mo para as plantas é limitada devido à sua escassez no solo, os teores totais variam entre 0,013 mg  $\text{kg}^{-1}$  e 17,0 mg  $\text{kg}^{-1}$  em diferentes tipos de solos. Solos originados de argilitos e granitos tendem a apresentar quantidades mais elevadas desse micronutriente (Crisóstomo; Nascentes, 2023). Mesmo que muitos solos contenham quantidades adequadas de Mo, é comum observar deficiências em regiões com alta precipitação pluvial. Além disso, a disponibilidade de Mo é influenciada pelo pH e teores de óxidos de Fe e Al no solo. A presença de matéria orgânica, fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) também limitam a disponibilidade do micronutriente (Crisóstomo; Nascentes, 2023).

Existem diversas estratégias para fornecer Mo ao feijoeiro: aplicação via solo (Bassan *et al.*, 2001), pulverizações foliares (Vieira *et al.*, 2010), tratamento direto das sementes (Majda *et al.*, 2019) e enriquecimento das sementes com Mo (Vieira *et al.*, 2011). Dechen e Nachtigall (2007) argumentam que a aplicação de Mo no solo ou através do tratamento de sementes pode não ser uma abordagem eficiente. Isso ocorre devido à interação de Mo com a matéria orgânica e com óxidos de Fe e Al, que diminui sua disponibilidade para a planta.

Por outro lado, a aplicação foliar de Mo é considerada uma estratégia eficaz devido a mobilidade do micronutriente nas plantas. A aplicação foliar permite uma absorção rápida (Diesel *et al.*, 2011) e requer uma menor quantidade de Mo (VIEIRA *et al.*, 2014). Vieira *et al.* (2014) observaram que, quando aplicado diretamente às folhas, o Mo pode ser transportado para outras partes da planta em um período de até 24 horas. Essa abordagem tem o potencial de aumentar a produtividade (Vieira *et al.*, 2010). Logo, Barbosa *et al.* (2021) sugerem que o uso de sementes enriquecidas com Mo, obtidas a partir da aplicação foliar do micronutriente, é uma estratégia promissora, a qual tem mostrado melhorias tanto no rendimento quanto na eficácia da FBN em feijão-caupi.

Em relação a quantidade de Mo utilizado para o enriquecimento das sementes, estudo de Vieira *et al.* (2005) realizado na Zona da Mata, Minas Gerais, mostrou que a aplicação de 600 g ha<sup>-1</sup> de Mo elevou o conteúdo de Mo na semente (CMoS) para 3,6 µg, nível que não houve mais resposta à aplicação foliar de Mo. Ainda, o CMoS quase dobrou com nível de 1440 g ha<sup>-1</sup>, fracionada em quatro aplicações entre os estádios fenológicos: V4 (terceira folha trifoliolada) e R5 (período pré-floração), comparado a um nível em V4 (Vieira *et al.*, 2005).

Esses achados sugerem que o fracionamento de níveis de Mo em estádios da planta favorece o enriquecimento das sementes (Vieira *et al.*, 2005; 2015). O feijão-caupi possui um ciclo de desenvolvimento subdividido em fase vegetativa e reprodutiva (Barros *et al.*, 2021). Na fase vegetativa, ocorrem 16 estádios fenológicos, no qual os dois primeiros estádios compreendem a emergência dos cotilédones (VE) e o surgimento do primeiro nó com as folhas cotiledonares abertas (VC). Em seguida, os estádios V1 ao V14, caracterizados pelo surgimento de cada novo nó no ramo principal com folíolos completamente abertos (Moura *et al.*, 2012).

Na fase reprodutiva ocorrem 6 estádios fenológicos. O primeiro estágio compreende o surgimento dos primórdios florais (pré-floração, R1); o segundo compreende o surgimento da primeira flor aberta (floração, R2); o terceiro é caracterizado pelo surgimento da primeira vagem (pré-frutificação, R3); o quarto corresponde ao enchimento dos grãos (frutificação, R4); o quinto é caracterizado pelas vagens com grãos já desenvolvidos (grãos formados, R5);

e o último estágio, quando aproximadamente 50% das vagens da planta atingem a maturidade (R6-maturação) (Moura *et al.*, 2012).

#### 2.4 Enriquecimento de sementes com molibdênio

O Mo é requerido pelas plantas em pequena quantidade (Brodrick *et al.*, 1992), no entanto, o alto CMoS é suficiente para promover o crescimento normal da planta sem a necessidade de fornecimento externo (Campo; Hungria, 2002). Ao enriquecer as sementes com Mo, são reduzidas as perdas de fertilizantes e assegurada a oferta do nutriente conforme a necessidade da planta. A produção dessas sementes é econômica e tecnicamente factível, o que incentiva o uso de sementes com melhor qualidade (Lima, 2009).

Investir em sementes de qualidade pode potencializar a produtividade do feijão-caupi. No entanto, muitos agricultores não têm acesso a essa tecnologia, seja por desconhecimento ou dificuldade de acesso ao Mo. Uma alternativa seria oferecer as sementes com alto teor do micronutriente (Vieira *et al.*, 2010).

Vieira *et al.* (2010) destacam a necessidade de aplicar grandes quantidades de Mo para obter sementes com alto teor do micronutriente, pois níveis de até 2550 g.ha<sup>-1</sup> aplicadas na folhagem não geram toxicidade ao feijoeiro. Ainda, níveis tão altos quanto 4000 g ha<sup>-1</sup> de Mo não são tóxicas quando pulverizadas nos feijoeiros, e que é possível atingir 6,961 µg de Mo por semente. No entanto, o estudo de Vieira *et al.* (2011) relata que é possível produzir sementes com alto conteúdo de Mo com níveis mais baixas.

No estudo de Barbosa *et al.* (2021) sementes colhidas de plantas que receberam pulverizações de 0, 250 e 850 g ha<sup>-1</sup> de Mo exibiram variações notáveis. Na primeira colheita, as sementes tiveram (média de quatro repetições ± DP) 0,014 ± 0,005, 0,674 ± 0,151 e 1,987 ± 0,278 µg semente<sup>-1</sup> de Mo, respectivamente. Na segunda colheita, as quantidades foram de 0,023 ± 0,012, 0,538 ± 0,165 e 1,827 ± 0,257 µg semente<sup>-1</sup> de Mo, respectivamente.

Vieira, Salgado e Ferreira (2005) salientam que com uso da adubação foliar e em solo de pH 6,1, plantas provenientes de sementes ricas em Mo (0,722 µg e 1,272 µg por semente) responderam positivamente à aplicação foliar de Mo, apresentando produtividades entre 1772 kg ha<sup>-1</sup> e 3017 kg ha<sup>-1</sup>.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de estudo

Foram realizados dois ensaios em campo, na área experimental do Programa de Pós-graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, em São Luís (latitude 2°30' sul e longitude 44°18' oeste, altitude de 24 m), Maranhão. Um ensaio foi instalado em 08 de junho de 2022 e outro em 25 de maio de 2023.

O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra seca, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. A precipitação acumulada durante o período de condução do ensaio em 2022 foi de 200,05 mm e no ensaio de 2023 foi de 253,24 mm. A média da temperatura diária durante a condução do ensaio de 2022 foi de 26,30 °C e no ensaio de 2023 foi de 25,97 °C (Figura 1).

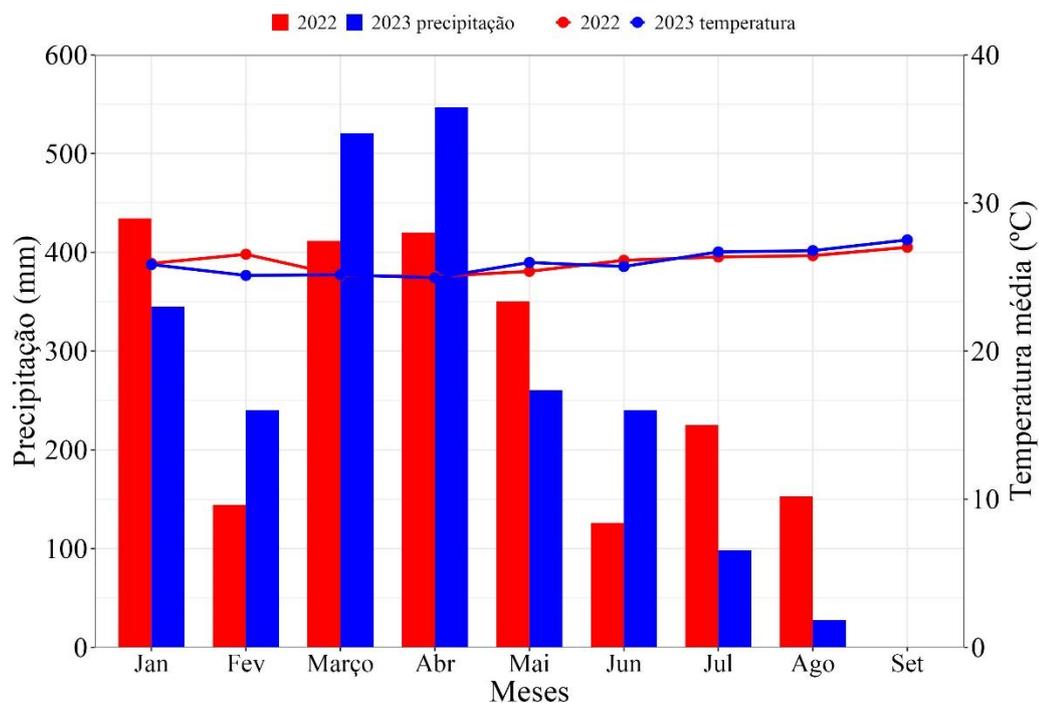


Figura 1. Precipitação pluvial mensal (Cemaden, 2023) e temperatura média mensal (INMET, 2023) em 2022 e 2023.

O solo desta região é típico latossolo amarelo de acordo com a taxonomia brasileira de solo (Embrapa solos, 1986), e as características físicas e químicas (Tabela 1) foram determinadas na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo antes da implantação dos ensaios em 2022 e 2023, São Luís, Maranhão.

Características do solo	2022	2023
pH <sup>a</sup>	4,2	4,3
Matéria Orgânica <sup>b</sup> , %	2,5	1,4
P <sup>b</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	10	1
K <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	0,27	0,03
Ca <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	1,4	1,2
Mg <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	0,9	0,7
H+Al <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	2,5	2,2
CTC <sup>c</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	5,07	4,13
Na <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	0,51	0,39
Al <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	0	0
H <sup>b</sup> , cmolc kg <sup>-1</sup>	2,5	2,2
Carbono <sup>b</sup> , %	1,45	1,23
Areia Grossa, g kg <sup>-1</sup>	30	40
Areia Fina, g kg <sup>-1</sup>	51	47
Silte, g kg <sup>-1</sup>	5	30
Argila, g kg <sup>-1</sup>	14	10

a Medido em 0,01 M CaCl<sub>2</sub> e com razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).

b De acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

c CTC, capacidade de troca catiônica em pH 7: Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> e H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>.

### 3.2 Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de duas épocas de colheita (primeira colheita com 50% das vagens maduras e segunda colheita 7 dias após a primeira colheita) e cinco níveis de Mo (0, 50, 100, 200 ou 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo) aplicadas na folhagem, nestas fases de desenvolvimento: 23 dias após a emergência (DAE) (V4), 40 DAE (R2) e 46 DAE (R4) no ensaio de 2022 e 24 DAE (V4) , 37 DAE (R2) e 44 DAE (R4) no ensaio de 2023. O nível de 50 g ha<sup>-1</sup> de Mo foi aplicada no estádio V4. O nível de 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo, 50 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio V4 e 50 g ha<sup>-1</sup> no estádio R2. O nível de 200 g ha<sup>-1</sup> de Mo, 50 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio V4 e 150 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio R2. O nível de 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo, 50 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio V4, 175 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio R2 e 175 g ha<sup>-1</sup> foi aplicado no estádio R4 (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos com Mo e as fases de desenvolvimento que receberam Mo nos ensaios em 2022 e 2023, São Luís, Maranhão.

Níveis de Mo (g ha <sup>-1</sup> )	V4	R2	R4
0	-	-	-
50	50 g ha <sup>-1</sup>	-	-
100	50 g ha <sup>-1</sup>	50 g ha <sup>-1</sup>	-
200	50 g ha <sup>-1</sup>	150 g ha <sup>-1</sup>	-
400	50 g ha <sup>-1</sup>	175 g ha <sup>-1</sup>	175 g ha <sup>-1</sup>

V4 = terceira folha trifoliolada (23~24 DAE).

R2 = botão floral – 50% das plantas com presença de botões, sem vagens desenvolvidas (37~40DAE).

R4 = crescimento de vagens e vagens com ~10 cm de comprimento (44~46 DAE).

Os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de cinco fileiras de 5 m, espaçadas de 0,60 m. Foram distribuídas 12 sementes por metro de sulco. A cultivar utilizada foi a BRS Guariba, sem o uso de inoculantes.

### 3.3 Instalação e condução do experimento

A vegetação espontânea foi eliminada com roçadeira lateral antes da semeadura. Depois da roçada, toda palhada ficou sobre o solo e o solo não recebeu nenhum preparo mecânico. Em 2021 foi cultivado feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L.) na área onde foi conduzido o ensaio de 2022. Desde 2016 foi cultivado feijão-caupi na área onde foi conduzido o ensaio de 2023.

No sulco de plantio foi aplicado 500 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 4-14-8 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Aos 15 DAE foi realizada adubação com 150 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N). O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da planta. Em seguida, o sulco foi coberto com uma camada de terra e aplicada uma lâmina de água de 7,5 mm às 8:00 h e 7,5 mm às 17:00 h, para minimizar a volatilização. A adubação do primeiro ensaio foi realizada após uma chuva, e do segundo ensaio antes da chuva. Aos 7 DAE foi realizado o desbaste para alcançar a densidade de 12 plantas por metro de sulco.

O Mo, na forma de molibdato de sódio (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), foi aplicado na folhagem com pulverizador manual equipado com bico de leque XR 110-02. Foi estimada a quantidade de água necessária para molhar todas as plantas da parcela com o mínimo de escoamento. Dessa forma, o volume de calda total foi 250 L ha<sup>-1</sup>. A fim de prevenir a deriva da solução

com Mo foi utilizado um espalhante adesivo (Alquilfenol etoxilado - 12,5 g ha<sup>-1</sup>) e as parcelas foram protegidas com lona plástica.

A irrigação foi realizada por fita gotejadora, com gotejadores espaçados em 0,2 m e distribuídos próximos as linhas de cultivo. Nos dois ensaios foi adotada uma lâmina de água de 15 mm. Até 15 DAE, metade dessa lâmina (7,5 mm) foi fornecida diariamente às 8:00 h. Depois desse período, em caso de dois a três dias sem precipitação, a irrigação foi efetuada todos os dias, com lâmina de 15 mm em dois períodos: 7,5 mm às 8:00 h e 7,5 mm às 17:00 h. As plantas foram irrigadas até a fase R6, em que as vagens estavam aproximadamente 50% maduras, conforme descrito por Moura *et al.* (2012).

O manejo de plantas daninhas foi realizado manualmente conforme a necessidade. Aos 35 DAE, o produto comercial Bioneem foi aplicado (0,3125 L ha<sup>-1</sup>) para prevenir infestações de pulgão (*Aphis craccivora*). O produto contém 90% de óleo de neem (*Azadirachta indica*), 5% de sinergista e 5% de emulsionante. Nessa solução foi adicionado o espalhante adesivo para potencializar a aderência do produto à planta, com volume de calda de 250 L ha<sup>-1</sup>.

Para auxiliar nas interpretações e discussão dos resultados, foram avaliadas as seguintes variáveis: data da emergência, início do florescimento e aparecimento da primeira vagem madura. A data de emergência foi registrada quando 90% das plântulas emergentes assumiram posição vertical. O início da floração foi considerado quando pelo menos uma flor estava aberta em 50% das plantas da parcela. A data da primeira vagem madura foi considerada quando 50% das plantas exibiam ao menos uma vagem madura de coloração marrom claro.

No tratamento que não recebeu Mo na folhagem, aos 37 DAE foi separado 1 m da extremidade das fileiras centrais para coletar cinco plantas e avaliar a nodulação (número de nódulos e massa de nódulos seco) e o teor de N nas folhas. Essas plantas foram coletadas cuidadosamente com auxílio de enxadão. As raízes dessas plantas foram separadas da parte aérea. Os nódulos foram destacados manualmente das raízes e contados. Na parte aérea dessas plantas, foram separados os caules e as folhas. Em seguida, os nódulos e as folhas foram colocados em sacos de papel devidamente identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Os nódulos foram pesados para determinar a massa dos nódulos secos. Posteriormente, as folhas secas foram trituradas em moinho do tipo Willey, equipado com uma peneira de 20 mesh. Após digestão sulfúrica, o teor de N nas folhas foi determinado pelo método de Kjeldahl (Tedesco *et al.* 1995).

### **3.4 Produtividade e seus componentes da produtividade**

Foram realizadas duas colheitas à medida que as vagens amadureceram: a primeira aos 62 DAE e a segunda aos 69 DAE em 2022, e a primeira aos 60 DAE e a segunda aos 67 DAE em 2023. A primeira colheita foi realizada, com aproximadamente 50% das vagens maduras e a segunda colheita, com os 50% restante das vagens maduras (7 dias após a primeira colheita), na área útil de 7,2 m<sup>2</sup>. Nesta área, o estande final de plantas foi obtido pela contagem das plantas. Posteriormente, todas as vagens foram coletadas para determinar o número total de vagens e o número total de sementes. Em seguida, foi obtido o número de sementes por vagem pela razão entre o número de sementes e o número de vagens, e o número de vagens por planta pela razão entre o número de vagens e o estande final de plantas. Posteriormente, os grãos foram pesados para estimar a produtividade de grãos. Além disso, foram separadas duas amostras de 100 sementes ao acaso, para avaliar a massa de 100 sementes. A massa de 100 sementes e a produtividade de grãos foram padronizados para 130 g kg<sup>-1</sup> de água.

### 3.5 Conteúdo de molibdênio das sementes

Amostras de 100 sementes de cada tratamento (níveis de Mo e número de colheita) foram secas em estufa a 70 °C com circulação forçada de ar até massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas para determinar a massa de uma semente seca (g). Em seguida, as sementes foram moídas, e amostras de 0,5 g foram submetidas à digestão nitroperclórica. Após digestão, o teor de Mo das sementes de cada amostra 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 das sementes (μg semente<sup>-1</sup>) foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente (g g<sup>-1</sup>) pela massa de uma semente seca (g).

### 3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene). Para atingir homogeneidade de variâncias, os conteúdos de Mo das sementes foram transformados para  $\log(x + 0,5)$ . Esses dados foram apresentados sem transformação. Os dados que apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variâncias foram submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (Bates *et al.*, 2014). Para produtividade e seus componentes, os efeitos fixos foram os níveis de Mo. Para os conteúdos de Mo das sementes, os efeitos fixos foram os níveis de Mo, número de colheitas e a interação entre esses fatores. Os efeitos aleatórios

foram ensaios e blocos aninhados em ensaios. O valor de  $P$  dos efeitos fixos foram obtidos no pacote *lmerTest* (Kuznetsova *et al.*, 2017). As médias dos conteúdos de Mo das sementes influenciadas pelas colheitas foram comparadas pelo teste F. O teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias das variáveis influenciadas pelos níveis de Mo com a função *emmeans* no pacote *emmeans* (Lenth, 2023). Todas as análises foram feitas com 5% de probabilidade, no software R versão 4.1.2 (R Core Team 2023). Todos os dados foram apresentados com média  $\pm$  erro padrão da média.

#### 4. RESULTADOS

Para o ensaio de 2022, o estágio V4 ocorreu aos 23 dias após a emergência (DAE), o estágio R2 aos 40 DAE e o estágio R4 aos 56 DAE. No ensaio de 2023, o estágio V4 ocorreu aos 24 DAE, o estágio R2 aos 37 DAE e o estágio R4 aos 54 DAE. O florescimento das plantas iniciou aproximadamente aos 40 DAE em 2022 e aos 37 DAE em 2023. As primeiras vagens maduras foram observadas aos 56 DAE em 2022 e aos 54 DAE em 2023. O tempo da floração até o surgimento da primeira vagem foi de 16 dias em 2022 e de 17 dias em 2023.

Os nódulos planta<sup>-1</sup> e a massa dos nódulos secos (mg planta<sup>-1</sup>), respectivamente, foram de  $18,2 \pm 6,8$  e  $115,5 \pm 32,5$  (ensaio de 2022) e  $44,0 \pm 2,3$  e  $221,5 \pm 21,4$  (ensaio de 2023). O teor de N nas folhas foi de  $48,4 \pm 2,5$  g kg<sup>-1</sup> (ensaio de 2022) e  $48,7 \pm 2,2$  g kg<sup>-1</sup> (ensaio de 2023).

A produtividade média (n=20) foi de  $1.056,50 \pm 51,7$  kg ha<sup>-1</sup> e a amplitude foi de  $746 \pm 25,7$  kg ha<sup>-1</sup> (controle) a  $1290 \pm 76,7$  kg ha<sup>-1</sup> (nível de 200 g ha<sup>-1</sup> de Mo) no ensaio de 2022 e de  $1.219,72 \pm 32,0$  kg ha<sup>-1</sup> e amplitude de  $1.056 \pm 47,2$  kg ha<sup>-1</sup> (controle) a  $1.318 \pm 75,2$  kg ha<sup>-1</sup> (nível de 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo) no ensaio de 2023. Os níveis de Mo influenciaram significativamente a produtividade de sementes e a massa de 100 sementes (Tabela 3). As plantas que receberam os níveis de 100, 200 e 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo produziram 36,1% mais sementes que as plantas que não receberam Mo na folhagem (Figura 2a). O aumento na produtividade foi proporcionado, principalmente, pelo aumento de 9,3% na massa de 100 sementes obtida das plantas que receberam 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo em relação as plantas que não receberam Mo na folhagem.

Os níveis de Mo não influenciaram o estande final (média = 12,2 plantas m<sup>-2</sup>), o número de grãos por vagem (média = 9,5) e o número de vagens por planta (média = 4,9) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de  $F$  e  $P$  para o efeito fixo do modelo linear misto ajustado de dois ensaios para produtividade de sementes, estande final de plantas, número de grãos por vagem, número de vagens por planta e massa de 100 sementes. NumDF e denDF= graus de liberdade do numerador e denominador. São Luís, Maranhão, Brasil.

Variáveis (y)	numDF	denDF	$F$	$P$
Produtividade de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	4	34	9,25	<0,001
Massa de 100 sementes (g)	4	34	3,76	0,012
Estande final (plantas m <sup>-2</sup> )	4	28	0,80	0,532
Número de grãos por vagem	4	35	0,19	0,942
Número de vagens por planta	4	35	0,82	0,522

Efeito fixo:  $y \sim$  níveis de Mo; efeitos aleatórios:  $\sim 1|\text{ensaio} + 1|\text{ensaio:bloco}$

A interação entre níveis de Mo e número de colheitas não influenciou o conteúdo de Mo na semente (Tabela 4). Os níveis de Mo e o número de colheitas influenciaram significativamente o conteúdo de Mo da semente. O conteúdo de Mo na semente variou de 0,459  $\mu\text{g semente}^{-1}$  (controle) a 7,652  $\mu\text{g semente}^{-1}$  (nível de 400 g ha<sup>-1</sup>). Esse resultado representa aumento no conteúdo de Mo na semente de 15,7 vezes (Figura 2b). O conteúdo de Mo das sementes colhidas da primeira colheita foi 10,6% maior que o conteúdo de Mo das sementes obtidas da segunda colheita (Figura 2c).

Tabela 4. Valores de  $F$  e  $P$  para as fontes de variação (FV) dos efeitos fixos do modelo linear misto ajustado de um ensaio para o conteúdo de Mo da semente. NumDF e denDF= graus de liberdade do numerador e denominador. São Luís, Maranhão, Brasil.

FV	numDF	denDF	$F$	$P$
Níveis de Mo (Mo)	4	15	390,06	<0,001
Colheitas (C)	1	15	14,14	0,002
Mo x C	4	15	1,72	0,198

Fontes de variação:  $y \sim$  níveis de Mo + C + Mo x C; efeitos aleatórios:  $\sim 1|\text{bloco}$ .

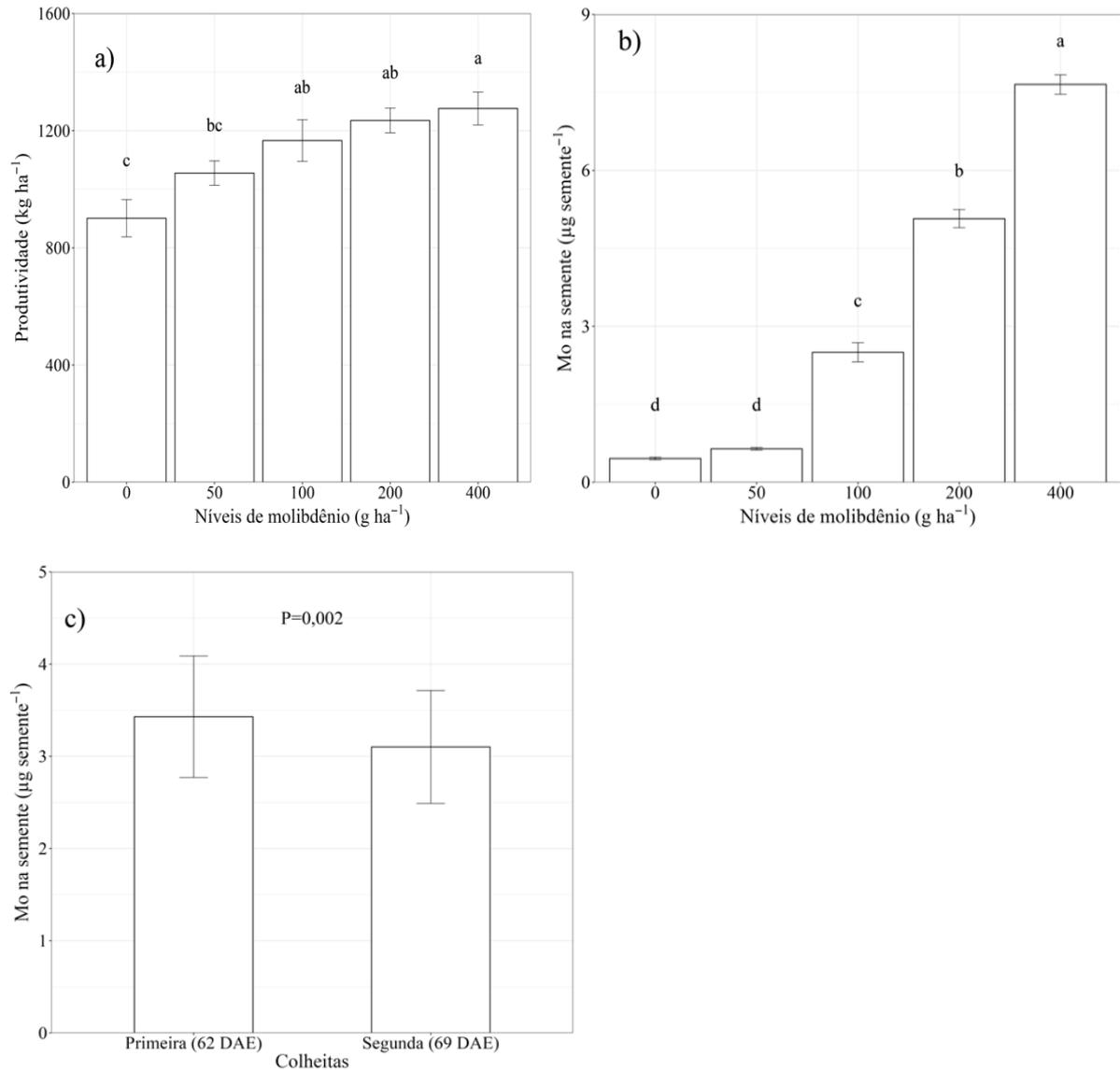


Figura 2. Efeitos dos níveis de Mo aplicadas na folhagem na produtividade de sementes (a) e no conteúdo de Mo da semente (b) (n=8), e efeitos das colheitas no conteúdo de Mo da semente (c) (n=20), São Luís, Maranhão, Brasil. Médias com mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). O teste F foi usado para comparar o efeito das colheitas no conteúdo de Mo da semente. A barra vertical representa o erro padrão da média.

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados do conteúdo de Mo das sementes de feijão-caupi corroboram com nossa hipótese de que sementes da primeira colheita apresentam maior conteúdo de Mo em comparação com as sementes da segunda colheita. Em resposta aos níveis de 0, 50, 100, 200 ou 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo pulverizadas na folhagem, os valores médios do CMoS foram de 0,50; 0,70; 2,73; 5,22 e 8,00 µg semente<sup>-1</sup> na primeira colheita, e de 0,42; 0,59; 2,27; 4,92 e 7,31 µg semente<sup>-1</sup> na segunda colheita, respectivamente. Estes conteúdos, para a mesma variedade de feijão-caupi, foram muito superiores aos obtidos na Zona da Mata de Minas Gerais, com os níveis de 0, 250 ou 850 g ha<sup>-1</sup> de Mo: 0,014; 0,674 e 1,827 µg semente<sup>-1</sup> obtidos na primeira colheita e 0,023; 0,538 e 1,827 µg semente<sup>-1</sup> obtidos na segunda colheita (Barbosa *et al.*, 2021).

Plantas de feijão-comum pulverizadas com 1440 g ha<sup>-1</sup> de Mo produziram sementes com 1,27 µg semente<sup>-1</sup> (Vieira *et al.*, 2005) e com nível de 4000 g ha<sup>-1</sup> de Mo produziram sementes com 6,96 µg semente<sup>-1</sup> (Vieira *et al.*, 2011), sem causar toxicidade às plantas.

Vieira *et al.* (2005) evidenciam que a aplicação foliar de altos níveis de Mo é capaz de enriquecer as sementes sem comprometer o rendimento dos grãos, e as sementes resultantes promovem aumento no potencial produtivo do feijoeiro. No entanto, o estudo de Vieira *et al.* (2011) relata que é possível produzir sementes com alto conteúdo de Mo, com níveis mais baixas que as usadas por Vieira *et al.* (2005).

Ensaio conduzidos em São Luís, Maranhão, em 2017 e 2018, em que plantas desenvolvidas a partir de sementes com altos conteúdos de Mo alcançaram rendimentos maiores que aquelas oriundas de sementes com baixo conteúdo do micronutriente (Barbosa *et al.*, 2021).

A possibilidade de obtenção de sementes com maior conteúdo de Mo quando estas são oriundas da primeira colheita representa uma estratégia significativa para o agricultor familiar. O agricultor pode enriquecer as sementes e organizar as colheitas de modo a maximizar os benefícios dessa técnica. Por exemplo, separando as sementes da primeira colheita, com maiores conteúdos de Mo (sementes enriquecidas), para serem utilizadas para cultivos subsequentes (sementes de uso próprio), e as sementes da segunda colheita, com menor conteúdo de Mo, para consumo ou venda (uso como grãos). Este método cria um ciclo de produção sustentável, onde a alta produtividade é mantida para o cultivo e a segurança alimentar é assegurada. No caso dos grandes produtores, as sementes enriquecidas podem ser destinadas à venda (empresas produtoras de sementes) ou ao uso em cultivos futuros

(sementes de uso próprio, reserva legal de sementes estabelecida na Portaria 538/2023, Decreto nº 10.586/2020, Lei nº 10.711/2003 (Lei de Sementes e Mudas).

Acreditamos que a redução do conteúdo de Mo em sementes de feijão-caupi em colheitas subsequentes pode estar associada a fatores fisiológicos e nutricionais. Durante os estágios vegetativo (V4) e reprodutivo (R2 e R4), ocorrem mudanças significativas na alocação de recursos pelo feijoeiro. No estágio V4, a planta concentra-se principalmente no crescimento vegetativo, desenvolvendo de folhas, caules e sistemas radiculares. Nesse período, se prepara para a fase reprodutiva ao acumular nutrientes essenciais (Oliveira *et al.*, 2018). No estágio R2, a planta direciona mais energia e nutrientes para a formação de flores e, posteriormente, de sementes, enquanto no estágio R4, as vagens e as sementes estão em desenvolvimento ativo (Moura *et al.*, 2012).

A aplicação de Mo nesses estágios pode ter sido mais efetivamente absorvida e utilizada para a formação das sementes obtidas na primeira colheita. Uma vez fornecido via foliar, o Mo é parcialmente móvel dentro da planta (Fonseca, 2006) e, essa mobilidade permite que o micronutriente atinja locais de intensa atividade metabólica que contribuem para o crescimento e desenvolvimento (Rana *et al.*, 2020). As enzimas nitrogenase e a nitrato redutase são importantes durante esse processo (Fagan *et al.*, 2007).

A planta pode ter requerido maior eficiência das enzimas relacionadas à alocação de nutrientes para formação de flores e desenvolvimento de vagens, o que pode ter elevado o acúmulo do Mo nas sementes obtidas na primeira colheita. A alocação de nutrientes inclua o armazenamento da maior parte do N nas folhas, na forma de proteínas, mobilizadas e translocadas para as vagens e grãos/sementes durante sua formação. Geralmente, 80% do N encontrado nos grãos/sementes vem do N armazenado na parte vegetativa da planta, enquanto o restante é assimilado após a floração. Os carboidratos necessários para o enchimento desses grãos/sementes são provenientes da atividade fotossintética atual (Didonet; Carvalho, 2014). Dessa forma, a primeira floração é mais abundante do que as subsequentes devido à preferência estabelecida pelas primeiras vagens vingadas na utilização dos carboidratos disponíveis. Isso implica que os carboidratos são direcionados principalmente para as primeiras vagens formadas, em detrimento as flores e vagens subsequentes (Didonet; Carvalho, 2014).

As médias da produtividade obtidas nos dois ensaios superaram em 2,2 (ensaio de 2022) e 2,5 vezes (ensaio de 2023) a produtividade média do feijão-caupi no Brasil, que é de 466 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023). Essa baixa produtividade do feijão-caupi no Brasil tem sido atribuída a carência de N, fósforo (P) e a acidez do solo (Jaiswal; Dakora, 2019). A variação

na precipitação também desempenha papel relevante na redução dos rendimentos da cultura (Guimarães *et al.*, 2021). No Maranhão, predominam solos ácidos, arenosos e com baixo conteúdo de matéria orgânica, condições que afetam negativamente a disponibilidade de Mo para as plantas, elemento essencial para várias funções biológicas, como a FBN (Gupta, 1997).

A técnica de pulverização de Mo na folhagem do feijão-caupi para aumentar a produtividade, especialmente utilizando níveis de 100 e 200 g ha<sup>-1</sup>, apresenta viabilidade econômica promissora para pequenos produtores, em regiões com solos de baixa fertilidade natural e sob altas temperaturas. Esta constatação sugere que o nível de 100 g ha<sup>-1</sup> proporciona aumento da produtividade. Isso implica em custos de produção menores para os agricultores, já que a quantidade de Mo necessária pode ser reduzida sem comprometer a eficácia da técnica. Portanto, essa abordagem não só pode aumentar a rentabilidade da cultura do feijão-caupi para os produtores, mas também pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis.

Estudos conduzidos por Sapucay *et al.* (2016) demonstraram que, mesmo em condições de solos com deficiência de Mo e apenas com a presença de rizóbios nativos, é possível alcançar produtividades de até 3000 kg ha<sup>-1</sup> com a cultura de feijão-comum. Na Zona da Mata de Minas Gerais, esses autores relataram que o Mo aplicado na folhagem pode dispensar o uso de adubação nitrogenada em cobertura. Ainda, esse estudo destaca a importância da fertilização preventiva com Mo, especialmente em leguminosas, que demandam mais Mo devido à sua função enzimática na FBN. A FBN é um processo natural que promove o crescimento vegetal ao transformar o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em amônia (NH<sub>3</sub>), que as plantas podem aproveitar (Oliveira *et al.*, 2017). Essa conversão ocorre principalmente nos nódulos, estruturas especializadas formadas nas raízes de algumas espécies de plantas, como as leguminosas, e bactérias fixadoras de N, como as do gênero *Rhizobium* (Carvalho *et al.*, 1946).

A nodulação sem aplicação de Mo evidenciou a capacidade adaptativa das leguminosas em estabelecer simbiose com rizóbios nativos do solo, visto que a nodulação dependeu exclusivamente da comunidade edáfica nativa. Este fenômeno foi corroborado por Silva *et al.* (2012), que observaram aumento de até 1,3 vezes o número de nódulos no tratamento sem inoculação e sem adição de N, mas com aplicação de rizóbios, comparado ao tratamento sem as bactérias fixadoras. Esse resultado sugere que a nodulação pode ser eficientemente estimulada pela presença de rizóbios.

Acreditamos que para a cultura do feijão-caupi, o nível de Mo entre 50 e 100 g ha<sup>-1</sup> seja suficiente para produzir sementes enriquecidas com Mo. No estudo de Barbosa *et al.* (2021), as sementes ricas em Mo produzidas na Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil, apresentaram CMoS de 1,987 µg semente<sup>-1</sup> com um nível de Mo 2,3 vezes maior que o nosso maior nível.

Nossos resultados sugerem que nas condições edafoclimáticas do trópico úmido maranhense, o feijão-caupi apresenta alta eficiência em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem. No entanto, o CMoS pode variar, de não detectável (Jacob-Neto *et al.*, 1988) a 19,3 µg Mo semente<sup>-1</sup> (Jacob-Neto; Franco, 1986), que depende do Mo disponível para as plantas, o método de aplicação, o genótipo (Vieira; Salgado e Ferreira, 2005), o pH do solo, a presença de óxidos de Al e Fe e a interação com outros nutrientes (Havlin *et al.*, 2005).

Outro aspecto que pode interferir no enriquecimento das sementes é o parcelamento dos níveis de Mo aplicadas na folhagem. De acordo com Pires (2003), o parcelamento de níveis pode aumentar a eficiência com que as plantas absorvem e utilizam o micronutriente, o que, por sua vez, contribui para elevar a produtividade do feijoeiro. Os resultados obtidos em Coimbra (pH= 4,7) só alcançaram altos níveis de Mo na semente quando 83% do nível de Mo (500 g ha<sup>-1</sup>) foi aplicada em duas pulverizações durante o estágio reprodutivo. Este resultado é contrastante com os dados de Oratórios (pH=5,8), onde o nível de Mo usada para produzir 3,6 µg semente<sup>-1</sup> foi muito inferior a 600 g ha<sup>-1</sup> de Mo, com 83% do nível aplicada na fase reprodutiva (Vieira *et al.*, 2016). No presente estudo (pH=4,3) foi possível enriquecer sementes com 8,02 µg semente<sup>-1</sup> com nível de 400 g ha<sup>-1</sup> de Mo.

A utilização dessas sementes ricas em Mo pode ser particularmente benéfica para agricultores de baixa renda, que têm a oportunidade de suprir as necessidades de Mo do feijão-caupi, mesmo sem conhecimento específico dos benefícios desse micronutriente (Barbosa *et al.*, 2021). Essa abordagem é reforçada por Leite *et al.* (2009), que incentivam os produtores a adotar sementes de alta qualidade como uma técnica viável e econômica, e seu papel na promoção de uma agricultura mais sustentável e produtiva.

A perspectiva de continuidade da pesquisa reside na necessidade de testar nossa hipótese em outras regiões do Maranhão, visto que o experimento foi implantado somente em São Luís. Ainda, faz-se necessária a avaliação do efeito dos tratamentos na qualidade fisiológica das sementes.

## 6. CONCLUSÕES

Há maior acúmulo de Mo (maior conteúdo de Mo) nas sementes obtidas da primeira colheita em comparação com as sementes obtidas da segunda colheita. Quanto maior o nível de Mo fornecida, até o nível de  $400 \text{ g ha}^{-1}$ , maior o conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi cultivado em solos de baixa fertilidade natural. O nível de  $100 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo aplicado na folhagem proporciona aumento da produtividade.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ALMEIDA, F. F. D.; ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 367–378, 2013.
- AMANE, M. I. V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A. A.; ARAÚJO, G. A. A.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O.; SILVA, J. G. Resposta da cultura do feijão a doses de nitrogênio e de molibdênio. *In*: Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, 5., 1996, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP-APA, 1996. p. 91-96.
- AMANE, M.I.V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A.A.; ARAÚJO, G.A.A. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molíbdica. **Revista Ceres**, v. 41, p. 202-216, 1994.
- ASCOLI, A. A.; SORATTO, R. P.; MARUYAMA, W. I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 377–384, 2008.
- 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**, v. 113, p. 1-10, 2021.
- BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; MELO, N. F. D.; ANGELOTTI, F. Water restriction in different phenological stages and increased temperature affect cowpea production. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e022120, 2021.
- BASSAN, D. A. Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. A. C.; SANTOS, N. C. D.; SÁ, M. E. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura de feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, p.76-83, 2001.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. B.; WALKER, S. C. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, 2014. p. 51 (publicação do pacote `lme4`).
- BERGER, P. G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 473-490. 1996.
- BORGES, W. L.; FERREIRA, N. S.; RIOS, R. M.; SILVA, M. A.; ARAÚJO, A. P.; STRALIOTTO, R.; ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G. Strategies for Improving Cowpea Grain Yield in the Eastern Amazon: Biological Nitrogen Fixation, Phosphorus Nutrition, and Molybdenum Seed Enrichment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 15, p. 2087-2101, 2023.

BRODRICK, S. J.; SAKALA, M. K.; GILLER, K. E. Molybdenum reserves of seed, and growth and N<sub>2</sub> fixation by *Phaseolus vulgaris* L. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 13, n. 1, p. 39-44, 1992.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Importância de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio. *In*: Congresso Brasileiro de Soja MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002.p.355-366 (Documentos, 180).

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOBRINHO, C. A. **Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 244 p.

CARVALHO, R. S. As bacterias dos nódulos das raízes das leguminosas: aula inaugural 1946. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, v. 3, p. 9-26, 1946.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. 2023. Disponível em:< <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, safra 2021/22 – terceiro levantamento, 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Tabela de dados - Produção e balanço de oferta e demanda de grãos**. Novembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: 29 nov. 2023.

CORREA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 59, p. 88-94, 2012.

CRISÓSTOMO, C. A.; NASCENTES, R. F. Adubação parcelada de nitrogênio associada a molibdênio na cultura do milho. **Open Science Research X**, Editora Científica Digital 2023, 33-53 p.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas. Fertilidade do Solo**. Viçosa: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2007. p. 91-132.

DHALIWAL, SS; SHARMA, V.; SHUKLA, AK; KAUR, J.; VERMA, V.; KAUR, M.; SINGH, P.; BRESTIC, M.; GABER, A.; HOSSAIN, A. Interactive Effects of Molybdenum, Zinc and Iron on the Grain Yield, Quality, and Nodulation of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in North-Western India. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 3622, 2022.

DIESEL, P.; DA SILVA, C. A. T.; SILVA, T. R. B.; NOLLA, A. Molibdênio e cobalto no desenvolvimento da cultura da soja. **Agrarian**, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 169–174, 2011.

EMBRAPA. **Feijão-caupi**. 2023. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/en/meio-norte/historia-caupi>>. Acesso em: set. 2023.

FAO: FAOESTAT. **Crops. Cow peas, dry.** 2018. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

FREIRE FILHO, F. R. **Origem, evolução e domesticação do caupi.** In: ARAUJO, J. P. P. DE; WATT, E. E. (Org.). *O caupi no Brasil.* Goiânia: EMBRAPA-CNPAP; Ibadan: IITA, 1988. 26-46 p.

FREIRE FILHO, F. R.; DA COSTA, A. F. Feijão-Caupi: Classificação botânica e importância. In: **Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades.** Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, v. 17, n. 3, 2020. 64 p.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, S. M. S.; SITTOLIN, I. M. **BRS Guariba: nova cultivar de feijão-caupi para a Região Meio-Norte.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. p. 1. (Folheto, Embrapa Meio-Norte).

GUIMARÃES, D. G.; VIANA, B. A. R.; VASCONCELOS, R. C. de; OLIVEIRA, L. M.; PRATES, C. J. N. Avaliação da qualidade de sementes e desempenho de plantas de genótipos de feijão-caupi após 48 meses de armazenamento em câmara fria. **HOLOS**, v. 3, p. 1-16, 2021.

GUPTA, U. C. **Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants.** In: GUPTA, U. C. (Ed.). *Molybdenum in agriculture.* Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p. 71-91.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers.** 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 515p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais.** 2023. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: nov. 2023.

INOCENCIO JUNIOR, J. R. A. F.; FONTES, M. C. D.; BARRETO, J. F. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas.** Manaus: [s.n.], 2019. (Circular Técnica, 71).

JACOB NETO, J.; ROSSETTO, C. A. V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. **Floresta e Ambiente**, v. 5, p. 171-183, 1998.

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. Conteúdo de molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, v. 58, p. 508, 1986.

JAISWAL, S. K.; DAKORA, F. D. Widespread distribution of highly adapted Bradyrhizobium species nodulating diverse legumes in Africa. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 310, 2019.

JESUS, A. C.; FREITAS, M. S. M.; PEÇANHA, D. A.; VIEIRA, M. E.; CUNHA, J. M.; PEREIRA, J. S.; GRAVINA, G. A.; BRAUN, H.; VIEIRA, H. D. Seed molybdenum concentration and yield of cowpea as influenced by foliar application of sodium molybdate and soil application of simple superphosphate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 17, p. 4224-4238, 2023.

KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, 1769805, 2020.

KISKER, C.; SCHINDELIN, H.; REES, D. C. Molybdenum-cofactor-containing enzymes: structure and mechanism. **Annual Reviews Biochemistry**, v. 66, p. 233-267, 1997.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. **Journal of Statistical Software**, v. 82, n. 13, p. 1–26, 2017.

LEITE, U. T.; ARAÚJO, G. A. A.; MIRANDA, G. V.; VIEIRA, R. F.; PIRES, A. A. Influência do conteúdo de molibdênio na qualidade fisiológica da semente de feijão: cultivares Novo Jalo e Meia Noite. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 225-231, fev. 2009.

LENTH, R. V.; BOLKER, B.; BUERKNER, P.; Giné-Vázquez, I.; Herve, M.; Jung, M.; Love, L.; Miguez, F.; Riebl, H.; Singmann, H. **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package version 1.8.9, 2023.

LESSA DE SOUZA, J. V.; BENTO SIMPLÍCIO, J.; ORESCA, D.; CARVALHO GONÇALVES DE SOUZA, J.; CIRINO JÚNIOR, B.; ALEXANDRE CAMPELO DE OLIVEIRA. Desenvolvimento inicial do feijão-caupi em resposta à fertilização nitrogenada e molibídica. **Revista Geama**, v. 9, n. 1, p. 11–17, 2023.

LIMA, T. C. **Enrichment of bean seeds with molybdenum and its effects on seed physiological quality and yield in three generations**. 2009. 52 f. Tese (Doutorado em Plantas daninhas, Alelopatia, Herbicidas e Resíduos; Fisiologia de culturas; Manejo pós-colheita) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MAIA, F. M. M. **Composição e caracterização nutricional de três cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp: EPACE-10, Olho de Ovelha e IPA-206**. 1996. 87 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MAJDA, C.; KHALID, D.; AZIZ, A.; RACHID, B.; BADR, A.; LOTFI, A.; MOHAMED, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 654-663, 2019.

MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 6, p. 333-339, 2003.

MELO FILHO, L. C. de; CAMARGO, S. L.; LEITE, U. T.; LIMA, A. A. de. Adubação molibídica em feijoeiro no Cone Sul de Rondônia. **R. Bras. Agrocência**, Pelotas, v. 17, n. 2-4, p. 228-233, 2011.

MENDEL, R. R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant Cell Reports**, n. 30, p. 1787-1797, 2011.

MENDEL, R. R. Molybdenum: biological activity and metabolism. **Dalton Transactions**, n. 21, p. 3404-3409, 2005.

MENDEL, R. R. The History of the Molybdenum Cofactor—A Personal View. **Molecules**, v. 27, n. 15, p. 4934, 2022.

MENDEL, R. R.; BITTNER, F. Cell biology of molybdenum. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1763, p. 621-635, 2006.

MORAES, L. M. de F.; LANA, R. M. Q.; MENDES, C.; MENDES, E.; MONTEIRO, A.; ALVES, J. F. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciênc. agrotec**, v. 32, n. 5, p. 1496–1502, 2008.

MOURA, J. Z.; DE MOURA PÁDUA, L. E.; DE MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; SILVA, P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 66-71, 2012.

OLIVEIRA, A. M. C. de; MELO NETO, B.; ROCHA, M. de M.; SILVA, M. R. da; OLIVEIRA, M. R. de. Produção de alimentos na base do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*): importância nutricional e benefícios para a saúde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, e56101416054, 2021.

OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, p. 282-290, 2017.

ONUWA, G. C.; MAILUMO, S. S.; CHIZEA, C. I.; ONEMAYIN, J. J.; IDRIS, R. S.; ABALAKA, E. A.; EBONG, A. C. Technical efficiency in cowpea (*Vigna unguiculata*) production in Kanke, Plateau State, Nigeria. **FUDMA Journal of Agriculture and Agricultural Technology**, v. 8, n. 1, p. 97-106, 2022.

PACHECO, R. S.; BRITO, L. F.; STRALIOTTO, 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.

PIRES, A. A. **Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na cultura do feijoeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 46 p. (Tese de Mestrado).

PRADO, A. L.; ARAUJO, E. F.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAUJO, R. F.; BRAUN, H.; PAULA JÚNIOR, T. J.; TEIXEIRA, P. H.; VIEIRA, R. F. Split applications of molybdenum fertilizer on common bean increase molybdenum in seed. **Agronomy Journal**, v. 115, p. 987–996, 2023.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108 p. (Sistemas de Produção, n. 2).

SAPUCAY, M. J. L. C.; VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; JÚNIOR, T. J. P.; LIMA, M. S.; VIEIRA, R. F.; VIDIGAL, S. M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen? **J Plant Nutr.**, v. 39, p. 1644-1653, 2016.

SILVA, K. C. da; LIMA, I. M. de O.; CABRAL, R. D. C.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Resposta do feijão-caupi e do feijão-mungo à co-inoculação de Bradyrhizobium e Azospirillum e aplicação de molibdênio em solo arenoso. **Comunicações em Ciência do Solo e Plantas Análise**, v. 54, n. 5, p. 677-689, 2023.

SILVA, M. de F. da; SANTOS, C. E. de R. e S.; SOUSA, C. A. de; ARAÚJO, R. de S. L.; STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Nodulação e eficiência da fixação do N<sub>2</sub> em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1418-1425, 2012.

SODRÉ, D. N. **Sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de molibdênio originam plantas mais produtivas em solos com baixa fertilidade natural na Amazônia Oriental**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2019. 58 p. (Dissertação de Mestrado).

Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. 2nd ed. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1999. (USDA Agriculture Handbook 436).

SOUSA, V. F. de; ZONTA, J. B. **Tecnologias de produção de feijão-caupi irrigado para consumo de grãos imaturos (verdes) na Baixada Maranhense**. 1 ed. São Luís: Embrapa Cocais, 2022. 119 p.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Cultivo do Feijão: Manejo de irrigação. Embrapa. Disponível em: <[TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. \*\*Fisiologia e desenvolvimento vegetal\*\*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/manejo-de-irrigacao#:~:text=O%20rendimento%20do%20feijoeiro%20%C3%A9,mais%20sens%C3%A4veis%20%C3%A0%20defici%C3%Aancia%20h%C3%ADdrica.></a>>. Acesso em: dez. de 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TEWODROS, A.; MÉLÈSE, L.; YOSEPH, T. Assessment of the production and importance of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) walp]: Cases from selected districts of southern Ethiopia. **Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.**, v. 21, n. 7, p. 18300-18318, 2021.

TORRES, H. R. M.; SANTOS NETO, A. R. dos; RIBEIRO, P. R. C. de C.; RIBEIRO, J. J. Produtividade do feijão *Phaseolus vulgaris* L. com aplicações crescentes de molibdênio associadas ao cobalto via foliar. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 18; p. 2468- 2481, 2014.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

VIEIRA DE SÁ, A. **Relatório de avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 18 p.

VIEIRA, C.; NOGUEIRA, A.O.; ARAÚJO, G.A.A. Adubação nitrogenada e molibdica na cultura do feijão. **Revista de Agricultura**, v. 67, p. 117-124, 1992.

VIEIRA, R. F.; FERREIRA, A. C. D. B.; PRADO, A. L. D. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 163-169, 2011.

VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C.; PRADO, A. L.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SOARES, B. A. Split application of molybdc fertilizer at the reproductive stage of common bean molybdenum content in seed. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, p. 529-533, 2016.

VIEIRA, R. F.; PAULA JÚNIOR, T. J.; CARNEIRO, J. E. 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.; PIRES, A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; ROCHA, G. S. Common bean seed complements molybdenum uptake by plants from soil. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1843-1848, 2011b.

VIEIRA, R. F.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PRADO, A. L.; ARAÚJO, R. F.; LEHNER, M. S.; SILVA, R. A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 4, p. 415-419, 2015.

VIEIRA, R. F.; SALGADO, L. T.; FERREIRA, A. C. B. Desempenho do Feijão Comum Utilizando Sementes Colhidas de Plantas Fertilizadas com Altas Taxas de Molibdênio. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 363-377, 2005.

VIEIRA, R. F.; SALGADO, L. T.; PIRES, A. A.; ROCHA, G. S. Conteúdo de molibdênio das sementes de feijoeiro em resposta a doses do micronutriente pulverizado sobre as plantas. **Ciência Rural**, v. 40, p. 666-669, 2010.

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B. dos; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 561-564, 2007.

Embrapa Solos. 1986. **Mapa exploratório – Reconhecimento de solos do município de São Luís, MA**. Disponível em: <<http://solosne.cnps.embrapa.br/index.php?link=ma>>. Acesso em: Jan. de 2024.

MOURA, J. Z.; PÁDUA, L. E. M.; GONÇALVES, M. S.; TORRES, S. J.; SILVA, R. M. P. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. DA C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 59 p.

FONSECA, F. C. **Utilização de molibdênio via foliar no enriquecimento de sementes de soja**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Uberlândia – MG, 2006. 33 p.

RANA, M. S.; BHANTANA, P.; IMRAN, M.; SALEEM, M. H.; MOUSSA, M. G.; KHAN, Z.; KHAN, I.; ALAM, M.; ABBAS, M.; BINYAMIN, R.; AFZAL, J.; SYAIFUDIN, M.; DIN, I. U.; YOUNAS, M.; AHMAD, I.; SHAH, M. A.; CHENGXIAO, H. U. Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. **Ann Environ Sci Toxicol**, v. 4, n. 1, p. 032-044, 2020.

FAGAN, E. B., S. L. P. MEDEIROS, P. A. MANFRON, D. CASAROLI, J. SIMON, D. D. NETO, Q. J. LIER, O. S. SANTOS, E L. MÜLLER. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja- Revisão. **Rev. FZVA**, v.14, p. 89-106, 2007.

DIDONET, A. D.; CARVALHO, M. A. F. Fisiologia. *In*: GONZAGA, A. C. de O. (Ed.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 31-40.