

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

MARCOS DA COSTA TEIXEIRA

**VARIABILIDADE GENOTÍPICA EM FEIJÃO-CAUPI EM ACUMULAR  
NA SEMENTE O MOLIBDÊNIO APLICADO NA FOLHAGEM**

São Luís - MA

2023

MARCOS DA COSTA TEIXEIRA

Engenheiro Agrônomo

**VARIABILIDADE GENOTÍPICA EM FEIJÃO-CAUPI EM ACUMULAR  
NA SEMENTE O MOLIBDÊNIO APLICADO NA FOLHAGEM**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

São Luís - MA

2023

Teixeira, Marcos da Costa.

Variabilidade genotípica em feijão-caupi em acumular na semente o molibdênio aplicado na folhagem / Marcos da Costa Teixeira. – São Luís, 2023.

41 f

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023 .

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun.

Coorientador: Pr. Dr. Rogério Faria Vieira.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Molibdênio - Semente. 3. Enriquecimento de sementes. I. Título.

CDU: 633.33-153.027

MARCOS DA COSTA TEIXEIRA

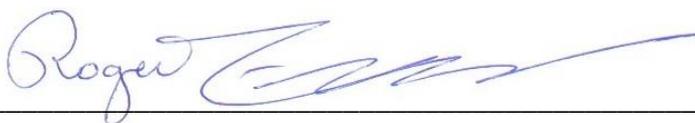
Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

Aprovado em: 03/03/2023

Comissão Julgadora:

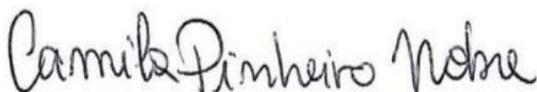


---

**Prof. Dr. Rogério Faria Vieira–EPAMIG**

Dr. em Fitotecnia

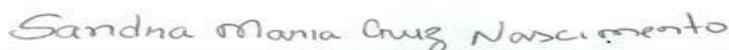
Coorientador



---

**Prof.ª Dra. Camila Pinheiro Nobre-UEMA**

Dra. em Ciência do Solo



---

**Prof.ª Dra. Sandra Maria Cruz Nascimento-IFMA**

Dra. em Agronomia: Ciência do Solo

São Luís – MA

2023

**Dedico,**

Com muito amor, carinho e gratidão a meus pais, Maria José da Costa Teixeira e Raimundo Teixeira; a meus avós, Maria do Amparo e João Cândido; e a meus irmãos e irmãs, Raimunda, Fábio, Rosinha, Maciel, Angelica, Bia e João.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por sempre ter me dado força nos momentos que mais precisei. À minha família por acreditar no meu sonho e por todo apoio em toda a minha jornada. A todos os meus amigos que de alguma maneira ajudaram na realização desse trabalho direta ou indiretamente.

Agradeço imensamente também a meu orientador e meu coorientador por todo aprendizado que têm me proporcionado durante todo o curso, e a todos os integrantes da nossa equipe de pesquisa pela ajuda na realização das atividades de pesquisa e pela vivência harmoniosa no nosso cotidiano acadêmico.

Gostaria de agradecer também à Universidade Estadual do Maranhão e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia pela oportunidade ofertada de fazer o curso de Agroecologia e as condições fornecidas para a realização da pesquisa. Também agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão, pela bolsa concedida, que foi de grande importância para minha permanência no curso.

E ainda, a todos os colaboradores que contribuíram na realização das atividades de campo com dedicação e empenho.

Meu agradecimento muito especial a todos vocês, atores que fizeram e estão fazendo parte desse processo de muito aprendizado e crescimento profissional e pessoal.

**MUITO OBRIGADO!**

**-Um dia a seguinte frase me inspirou:**

*“Determine que algo pode e deve ser feito, e então acharás o caminho para fazê-lo.”*

(Abraham Lincoln)

**-Com ela eu aprendi um caminho, e hoje digo:**

*A vitória não é um prêmio para quem vence uma batalha, mas sim a recompensa de um grande lutador que nunca desiste.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Feijão-caupi.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Molibdênio.....</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Local e caracterização da área experimental.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Instalação e condução dos experimentos.....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Multiplicação das sementes obtidas da Embrapa .....	21
3.3.2 Pré-plantio, plantio e condução dos experimentos .....	22
<b>3.4 Características avaliadas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5 Análise estatística.....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Teor e conteúdo de Mo nas sementes usadas no plantio dos experimentos .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Fechamento do dossel e produtividade.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Teor e conteúdo de Mo na semente sem aplicação de Mo na folhagem .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Teor e conteúdo de Mo na semente com aplicação de Mo na folhagem.....</b>	<b>25</b>
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização da comunidade Balaiada, município de Nina Rodrigues -MA, onde foram conduzidos os experimentos.....	19
FIGURA 2 - Precipitação e temperatura média mensal estimada, no município de Nina Rodrigues - MA, 2021 e 2022.....	19
FIGURA 3 - Efeito do Mo aplicado na folhagem de 20 genótipos de feijão-caupi sobre produtividade (a) e teor e conteúdo de Mo na semente (b) (n=4), Nina Rodrigues/MA, 2021.....	27
FIGURA 4 - Efeito do Mo aplicado na folhagem de 20 genótipos de feijão-caupi sobre o teor e conteúdo de Mo na semente (n=4), Nina Rodrigues/MA, 2022.....	28
FIGURA 5 - Análise de componentes principais com as variáveis teor de Mo na semente (TMoS), conteúdo de Mo na semente (CMoS), produtividade total (PT), número de vagens por planta (NVP) massa de cem sementes (MSS), comprimento da vagem (CV) e da semente (CS) e acamamento da planta (AP) de 20 genótipos (G) de feijão-caupi, Nina Rodrigues/MA, 2021 e 2022.....	29

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características físico-químicas do solo antes da instalação dos experimentos, na profundidade de 0-20 cm, em 2021 e 2022, Nina Rodrigues, Maranhão.....	20
TABELA 2 - Descrição, parentais, subclasse comercial e porte dos genótipos de feijão-caupi usados no estudo, em Nina Rodrigues, Maranhão.....	21

## RESUMO

A técnica de produção e uso de sementes ricas em Mo é uma estratégia eficaz para o suprimento desse micronutriente às plantas. Para usar o fertilizante molibdídico de forma eficiente para aumentar o conteúdo de Mo na semente (CMoS) é necessário conhecer a variabilidade genotípica em acumular Mo na semente. Nosso objetivo foi avaliar a variabilidade entre 20 genótipos de feijão-caupi na capacidade em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem. Conduzimos três experimentos: dois com a aplicação de 450 g/ha de Mo na folhagem, e um experimento sem aplicação de Mo. Este experimento foi conduzido para verificar o CMoS quando o solo é a fonte de Mo. Foram determinados os teores de Mo da semente (TMoS) e os CMoS. No experimento sem Mo, não foi detectado Mo nas sementes de nenhum genótipo. Nos experimentos com Mo, os TMoS variaram de 30,2 a 47,5  $\mu\text{g/g}$  e os CMoS, de 5,8 a 9,7  $\mu\text{g/semte}$ . Os genótipos MNC11-1031E-5, MNC11-1013E-33 e MNC11-1034E-2 estavam no grupo de maior CMoS nos dois experimentos. Na média dos dois experimentos o CMoS desses três genótipos foi 8,6  $\mu\text{g/semte}$  que superou em 19,6% o CMoS médio dos genótipos que estavam no grupo de menor CMoS nos dois experimentos. No geral, na média dos dois experimentos, a maior diferença de CMoS observada foi 33% (linhagem MNC11-1031E-5 em relação ao cultivar BRS Guariba). Nossos resultados sugerem que há variabilidade genotípica e alta eficiência do feijão-caupi em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*. Conteúdo de molibdênio na semente. Enriquecimento de sementes.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é leguminosa granífera anual de alto valor nutricional especialmente como fonte de proteína (GONDWE et al., 2019; XIONG et al., 2018). É originário do continente africano, mas é cultivado em todo o mundo com ampla distribuição nas regiões tropicais e subtropicais (HARSHINI et al., 2021; OMOMOWO; BABALOLA, 2021; XIONG et al., 2018). No Brasil tem grande importância socioeconômica especialmente no Nordeste e Norte. Nessas regiões, os grãos dessa espécie são um dos principais componentes da dieta alimentar das famílias (TEÓFILO et al., 2008).

No Maranhão, o feijão-caupi é cultura tradicional na agricultura familiar (FARIAS et al., 2016a) e é cultivado em todo o estado (FARIAS et al., 2016b). A produtividade no trópico úmido maranhense é de aproximadamente 500 kg/ha (CONAB, 2022), o que pode ser explicado em grande parte por deficiências nutricionais, especialmente nitrogênio (N) e fósforo, e baixo pH do solo (JAISWAL; DAKORA, 2019). Além da fertilidade do solo, a temperatura é outro fator que pode explicar a baixa produtividade dessa cultura (BARROS et al., 2021). Solos arenosos, ácidos e de baixo teor de matéria orgânica são predominantes no Maranhão. Essas condições influenciam a disponibilidade de Mo às plantas (GOLDBERG et al., 2002; GUPTA, 1997; COELHO et al., 2000; GUPTA; MACKAY, 1965) e indicam a possibilidade de que o Mo fornecido via semente enriquecida possa aumentar a produtividade da cultura.

O Mo possui importantes funções no metabolismo do N de quase todos os organismos vivos (SCHWARZ et al., 2009). O Mo é cofator da nitrogenase, enzima responsável pela redução do N<sub>2</sub> atmosférico a amônia (NH<sub>3</sub>) nos nódulos radiculares em leguminosas, e da enzima nitrato redutase responsável pela redução do nitrato (N-NO<sub>3</sub>) a nitrito (N-NO<sub>2</sub>) (SCHWARZ et al., 2009; KAISER et al., 2005). Assim, a baixa disponibilidade de Mo afeta o suprimento de N às plantas, devido a diminuição da atividade dessas enzimas (KUBOTA et al., 2008; GEWERH et al., 2019). O Mo também atua nas enzimas xantina oxidase, aldeído oxidase e sulfito oxidase. A enzima xantina oxidase está envolvida no catabolismo purínico. A enzima aldeído oxidase está envolvida na síntese de ácido abscísico, na resistência a estresses biótico e abiótico e no crescimento das plantas (MENDEL, 2011; KAISER et al., 2005). A sulfito oxidase está envolvida na desintoxicação celular do excesso de sulfeto e na degradação de aminoácidos que contêm enxofre (KAISER et al., 2005).

O uso de sementes ricas em Mo é maneira eficaz para o suprimento desse micronutriente às plantas. Para se produzirem sementes de feijão-comum ricas em Mo, as plantas das quais são colhidas as sementes são pulverizadas com solução de Mo, especialmente na fase reprodutiva,

geralmente mais de uma vez (VIEIRA et al., 2015, 2010; CAMPO et al., 2009), com dose que pode variar de 240 (ALMEIDA et al., 2013; PACHECO et al., 2012) a 4000 g/ha (VIEIRA et al., 2011b), sem causar toxicidade às plantas.

Essa tecnologia de enriquecer sementes com Mo tem sido estudada no feijão-comum (ALMEIDA et al., 2013; PACHECO et al., 2012; VIEIRA et al., 2005, 2011a, 2015, 2016), na soja (CORTESE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2017; HAMAGUCHI et al., 2016; MILANI et al., 2010; CAMPO et al., 2009), e no feijão-caupi (BARBOSA et al., 2021). A prática de enriquecer sementes com Mo tem estas vantagens, entre outras: beneficiar a fixação biológica de N, diminuir ou aproveitar melhor o N proveniente da aplicação de N-mineral e aumentar o rendimento das culturas (BARBOSA et al., 2021). A semente enriquecida pode ser usada por todos os agricultores, independentemente de conhecer ou não essa tecnologia (VIEIRA et al., 2015).

Na Zona da Mata de Minas Gerais, as doses de 0, 250 ou 850 g/ha de Mo aplicadas na folhagem do feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, proporcionaram os conteúdos de 0,014; 0,674 e 1,987  $\mu\text{g}$  de Mo/semente, respectivamente, o que demonstra a eficiência dessa cultura em acumular o Mo na semente (BARBOSA et al., 2021). Esses autores relataram que as sementes ricas em Mo aumentaram a produtividade quando não se aplicou N em cobertura. Agricultores familiares podem ser beneficiados das sementes ricas em Mo, porque eles geralmente não têm acesso ao fertilizante molíbdico ou desconhecem as vantagens da fertilização com Mo (VIEIRA et al., 2014).

Em feijão-comum, há evidências de que genótipos diferem na capacidade de acumular Mo na semente quando o solo é a principal fonte de Mo (BRODRICK et al., 1995), ou quando o Mo é aplicado na folhagem (VIEIRA et al., 2014). Conhecer a variabilidade genotípica na capacidade de acumular na semente o Mo aplicado na folhagem é uma maneira de utilizar o fertilizante molíbdico de forma eficiente para aumentar o conteúdo de Mo na semente (VIEIRA et al., 2014) e reduzir custos. Vieira et al. (2014) relataram que sementes grandes de feijão-comum (31,5 g/100 sementes) podem ser produzidas com dose relativamente menor do fertilizante molíbdico comparado aos genótipos que produzem sementes menores.

Não encontramos na literatura estudos sobre a variabilidade genotípica de feijão-caupi em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem. Hipotetizamos que há genótipos de feijão-caupi com maior capacidade de translocar e acumular na semente o Mo aplicado na folhagem, no processo de produção de sementes ricas em Mo. Logo, nosso objetivo foi avaliar a variabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi na capacidade em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Feijão-caupi

O Feijão-caupi é uma planta herbácea, diploide, predominantemente autopolinizada (aprox. 95%) pertencente à família Leguminosae, que foi domesticada na África Ocidental e oriental (ZAFEIRIOU et al., 2023). É muito cultivado em todo o mundo e possui ampla distribuição nos trópicos e subtropicais, especialmente na África, América Latina e em algumas partes da Ásia e Estados Unidos (HARSHINI et al., 2021; OMOMOWO; BABALOLA, 2021; XIONG et al., 2018; XIONG et al., 2016). Entretanto, 95% da produção mundial de grãos de feijão-caupi está concentrada na África Subsaariana (ZAFEIRIOU et al., 2023).

O feijão-caupi ocupa posição de destaque entre as culturas leguminosas devido a sua versatilidade e adaptabilidade a solos arenosos e à seca, o que o tornou uma importante cultura em regiões semiáridas (ZAFEIRIOU et al., 2023; HARSHINI et al., 2022). Pode ser cultivado em consórcio, como cultura mista, intermediária, de cobertura, adubo verde (HARSHINI et al., 2022), ou como forrageira para alimentação animal (FARIAS et al., 2016b). A associação simbiótica com bactérias fixadoras de N é eficaz (GUDIÑO-GOMEZJURADO et al., 2022; AYALEW et al., 2021; FARIAS et al., 2016a, 2016b). Logo, essa tecnologia pode proporcionar significativos incrementos no rendimento de grãos da cultura (AYALEW et al., 2021; FARIAS et al., 2016a; GUALTER et al., 2011). Assim, é possível minimizar custos de produção com a redução do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, com benefícios ambientais e aumento na fertilidade e matéria orgânica do solo (AYALEW et al., 2021; GUALTER et al., 2011).

O Feijão-caupi foi introduzido no Brasil supostamente no século XVI, provavelmente na Bahia (FOGAÇA et al., 2022), de onde foi disseminado no Nordeste e posteriormente para outras regiões do Brasil (FREIRE FILHO et al., 2013). Conhecido como feijão-de-corda, feijão-macassar, feijão-fradinho, dentre outras denominações (CORREA et al., 2012) possui grande diversidade de variedades crioulas (OLIVEIRA et al., 2015a), que são mantidas tradicionalmente por agricultores familiares. Com isso apresenta ampla variabilidade genética nas suas características agronômicas (CORREA et al., 2012). Essa ampla variabilidade genética atual se deve a existência de segregações e até mesmo mutações que foram disseminadas em sucessivos plantios, durante cerca de 450 anos desde a sua introdução no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011). Essas segregações resultaram em um amplo germoplasma com distintas características morfoagronômicas (OLIVEIRA et al., 2015a).

No Brasil o feijão-caupi integra principalmente sistemas de produção de pequenos e médios agricultores, especialmente no Nordeste e Norte (GUALTER et al., 2011), onde é a principal fonte de alimento energético-proteico e uma das principais fontes de renda para a população (CORREA et al., 2012; DUTRA et al., 2012; BRITO et al., 2011; XAVIER et al., 2008). Essa cultura também tem ganhado espaço no cerrado (FARIAS et al., 2016a; FREIRE FILHO et al., 2013), onde é incorporado aos arranjos produtivos como safrinha após as culturas da soja e do arroz e, em alguns locais, como cultura principal (FREIRE FILHO et al., 2011). De acordo com dados da Conab (2022), a produção de feijão-caupi no Brasil atingiu 1,26 milhões de toneladas com produtividade média de 492 kg/ha no ano agrícola 2021/2022. A região Nordeste concentrou 65% dessa produção e mais de 80% da área plantada com feijão-caupi do país, e o Maranhão foi o quinto maior produtor nessa região, com 58,3 mil toneladas.

O feijão-caupi é considerado uma cultura lucrativa, é cultivado especialmente nas safras de verão e é muito valorizado por suas características nutricionais (CHATTERJEE; BANDYOPADHYAY, 2017). É rico em Fe e Zn (ARAUJO et al., 2021), carboidrato, folato, tiamina, riboflavina e proteína de alta qualidade, que pode ser um aliado importante no combate à desnutrição proteico-energética (GONDWE et al., 2019). Seus grãos podem ser consumidos secos ou imaturos (feijão verde), mas no Brasil é produzido principalmente com a finalidade de atender o seguimento de mercado de grãos secos (SOUSA et al., 2019). Contudo, o seguimento de mercado de “feijão verde” tem conquistado mais espaço, especialmente no Nordeste e em muitas capitais das regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste, produzido principalmente por agricultores familiares (SOUSA et al., 2019; SOUSA et al., 2015; FREIRE FILHO et al., 2011).

O feijão-caupi apresenta duas fases de desenvolvimento: fase vegetativa e fase reprodutiva (BARROS et al., 2021; CAMPOS et al., 2000). Na fase vegetativa ocorrem 16 estádios fenológicos. Nessa fase 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 é atingido quando aproximadamente 50% das vagens da planta atingem a maturidade (R6-maturação) (MOURA et al., 2012).

## 2.2 Molibdênio

A nutrição balanceada das leguminosas é essencial para a obtenção de produção economicamente viável, principalmente em solos pobres em diversos nutrientes. Para alcançar boa produtividade, o agricultor deve fazer a fertilização com macro e micronutrientes (BANERJEE; NATH, 2021). Apesar de serem exigidos em pequenas quantidades, a concentração natural de micronutrientes, como a do Mo, são insuficientes em solos de clima tropical, o que faz com que as lavouras não consigam expressar seu potencial produtivo (MONTANHA et al., 2021).

Embora a concentração de Mo nos vegetais seja a menor entre os nutrientes (TAIZ et al., 2017), o Mo possui papel muito importante no metabolismo vegetal, pois compõe sítios ativos de enzimas responsáveis por transformações no metabolismo do nitrogênio, enxofre e compostos de carbono (MENDEL, 2005). O Mo é cofator das enzimas nitrogenase e nitrato redutase, xantina desidrogenase, oxidase de aldeído e oxidase de sulfeto (OLIVEIRA et al., 2017; VIEIRA et al., 2014; PRADO, 2008). Nessas enzimas, o Mo desempenha funções estruturais e catalíticas e tem envolvimento direto nas reações redox. Não é nutriente biologicamente ativo, mas uma parte integrante de um complexo orgânico de pterina chamado Mo-cofator (Moco) (TAIZ et al., 2017; KOVÁCS et al., 2015; MENDEL; BITTNER, 2006; KAISER et al., 2005; MENDEL et al., 2005).

As enzimas nitrato redutase e nitrogenase estão envolvidas no metabolismo do N. A nitrato redutase catalisa a redução do nitrato a nitrito, indispensável para a assimilação do N pelos vegetais (SILVA et al., 2020; POSSENTI; VILLELA, 2010). A nitrogenase é essencial no processo da fixação biológica de nitrogênio (FBN), pois catalisa toda a reação redox para a conversão do N atmosférico em amônia nos nódulos radiculares, forma assimilada pela planta (OLIVEIRA et al., 2017; KAISER et al., 2005). As enzimas xantina desidrogenase e oxidase de aldeído atuam em processos importantes para a resistência dos vegetais a estresses bióticos e abióticos (MENDEL et al., 2011; KAISER et al., 2005). A enzima oxidase de sulfeto está envolvida na síntese de aminoácidos que contêm enxofre (KAISER et al., 2005).

Por estar relacionado às rotas fisiológicas de redução do nitrato e fixação simbiótica de N, a deficiência de Mo pode acarretar deficiência de N nas plantas, se a fonte desse elemento for primariamente o nitrato ou depender da FBN. A deficiência de Mo, propriamente dita, apresenta-se na forma de clorose generalizada entre as nervuras e necrose das folhas mais velhas. Algumas espécies podem apresentar, ao invés de necrose, encarquilhamento e morte

das folhas. A deficiência de Mo pode prejudicar ainda a formação de flores ou causar abortamento (TAIZ et al., 2017).

A concentração de Mo no solo na camada superficial varia mais frequentemente entre 0,7 e 4 mg/kg (WÓJCIK, 2020). É absorvido principalmente por fluxo de massa, normalmente na forma de  $\text{MoO}_4^{2-}$  em pH maior ou igual a 5, e como  $\text{HMoO}_4^-$  quando o pH do meio é menor que 5 (PRADO, 2008). A disponibilidade de Mo às plantas é altamente influenciada pelo pH do solo (PRADO, 2008; GUPTA, 1997), pois o baixo pH aumenta substancialmente a adsorção do Mo (GOLDBERG et al., 2002) a óxidos de ferro e alumínio (OLIVEIRA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2015b; CHAGAS et al., 2010; PRADO, 2008; GUPTA; MACKAY, 1965). A disponibilidade de Mo pode ser reduzida em até 100 vezes com a diminuição de cada unidade de pH abaixo de 5 (PRADO, 2008; GUPTA, 1997).

Além do pH, a textura e o teor de matéria orgânica do solo também influenciam a disponibilidade de Mo. Em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica a concentração de Mo tende a ser menor (COELHO et al., 2000; GUPTA; MACKAY, 1965). A matéria orgânica protege o Mo em pH baixo (GUPTA, 1997), pois o molibdato pode se conectar a cargas negativas de moléculas orgânicas o que evita a formação de compostos insolúveis que diminuem a disponibilidade de Mo em meio ácido (COELHO et al., 2000). Entretanto, a adsorção é o fator que mais reduz a disponibilidade de Mo no solo (JIANG et al., 2015).

A adubação das plantas com Mo pode ser realizada por quatro métodos: via solo junto à adubação convencional, via tratamento de sementes, via adubação foliar ou via uso de sementes ricas em Mo (OLIVEIRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2017).

A aplicação de Mo via solo em condição de pH próximo a neutralidade aumentou a produtividade de feijão-caupi (DHALIWAL et al., 2022). Porém, em solos ácidos, o aproveitamento do Mo pelas plantas pode ser muito reduzido devido aos efeitos adsorptivos já mencionados (OLIVEIRA et al., 2017; JIANG et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015b; GOLDBERG et al., 2002).

Em feijão-caupi também foram reportados efeitos positivos da aplicação de Mo via tratamento de sementes, associada ao uso de biofertilizantes a base de bactérias solubilizadoras de P (PSB) + rizóbio (HARSHINI et al., 2021; CHATTERJEE; BANDYOPADHYAY, 2017). Por outro lado, Michel et al. (2020) não obtiveram resultados positivos ao utilizar esse método de aplicação de Mo via tratamento de sementes. Esses autores associaram esse resultado à toxicidade do Mo aos rizóbios, pois apesar eficácia dessa técnica, pode ocorrer efeito tóxico do fertilizante molibdico aos rizóbios e afetar a FBN (CAMPO et al., 2009; MILANI et al., 2008).

A aplicação foliar e o uso de sementes ricas em Mo melhorou tanto o rendimento como a FBN em feijão-caupi (BARBOSA et al., 2021; LEITE et al., 2009a). A aplicação de Mo na folhagem é mais eficaz que a aplicação via solo, pois a quantidade necessária de Mo é menor (VIEIRA et al., 2014). O uso de sementes ricas em Mo também tem sido reportado como alternativa viável para o suprimento de Mo em culturas leguminosas. Sementes com altas concentrações de Mo podem fornecer quantidade suficiente do nutriente para garantir adequado crescimento das plantas, sem adição suplementar dele (VIEIRA et al., 2011b; BRODRICK et al., 1992; JACOB-NETO; ROSSETTO, 1998). O uso dessa tecnologia aumenta a atividade da nitrogenase e da nitrato redutase (ALMEIDA et al., 2013; CHAGAS et al., 2010; KUBOTA et al., 2008). Assim, poderia ser recomendada como forma sustentável para potencializar a FBN e aumentar o rendimento das leguminosas graníferas (PACHECO et al., 2012).

De acordo com Barbosa et al. (2021), usar sementes ricas em Mo é maneira sustentável de aumentar o rendimento de feijão-caupi em sistemas de produção de agricultores familiares nas regiões sub-úmidas (BARBOSA et al., 2021). Além disso, é meio estratégico para suprir Mo às plantas, independentemente do agricultor conhecer ou não as vantagens proporcionadas pelo uso do Mo (VIEIRA et al., 2015), uma vez que essas sementes podem ser produzidas e fornecidas a agricultores através de políticas públicas (BARBOSA et al., 2021).

Para produção de sementes ricas em Mo, as plantas são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com doses de Mo acima das doses usadas para prevenir ou corrigir deficiência desse micronutriente no solo (VIEIRA et al., 2015). O Mo aplicado na folhagem é absorvido pelas folhas e pode ser transportado rapidamente para outras partes da planta (WILLIAMS et al., 2004; BRODRICK; GILLER, 1991). Esse rápido transporte do Mo das folhas para outras partes da planta provavelmente também ocorre com o Mo contido na semente. Portanto, o Mo reservado na semente é imediatamente disponibilizado para a planta (VIEIRA et al., 2014), de acordo com a sua demanda, o que aumenta a eficiência do uso do nutriente (LEITE et al., 2009b).

A aplicação de Mo nos estádios reprodutivos de forma parcelada proporciona maior acúmulo do nutriente na semente (VIEIRA et al., 2015, 2016; MILANI et al., 2010). Entretanto, vale ressaltar que, em feijão-comum, foi observado que doses acima de 200 g/ha aplicada na fase de enchimento das vagens pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes (VIEIRA et al., 2015).

Em feijão-comum, a aplicação foliar de 1000 g/ha de Mo pode aumentar o conteúdo de Mo na semente em até 520 vezes (VIEIRA et al., 2011b), em relação ao controle que não

recebeu Mo. Em soja, com a dose de 800 g/ha de Mo, dividida em duas aplicações iguais, foi alcançado aumento de 3000% no conteúdo de Mo na semente (CAMPO et al., 2009).

Vale ressaltar que para produzir sementes ricas em Mo, a dose a ser usada depende da disponibilidade de Mo no solo, do pH do solo, do cultivar, dentre outros fatores (VIEIRA et al., 2015). Um estudo com feijão-comum realizado por Vieira et al. (2014) sugeriu variabilidade genotípica quanto à capacidade de acumular Mo na semente, quando este é aplicado na folhagem. Sementes grandes e com plantas com maior área foliar (que permitem maior interceptação do Mo pulverizado) geralmente acumularam mais Mo na semente.

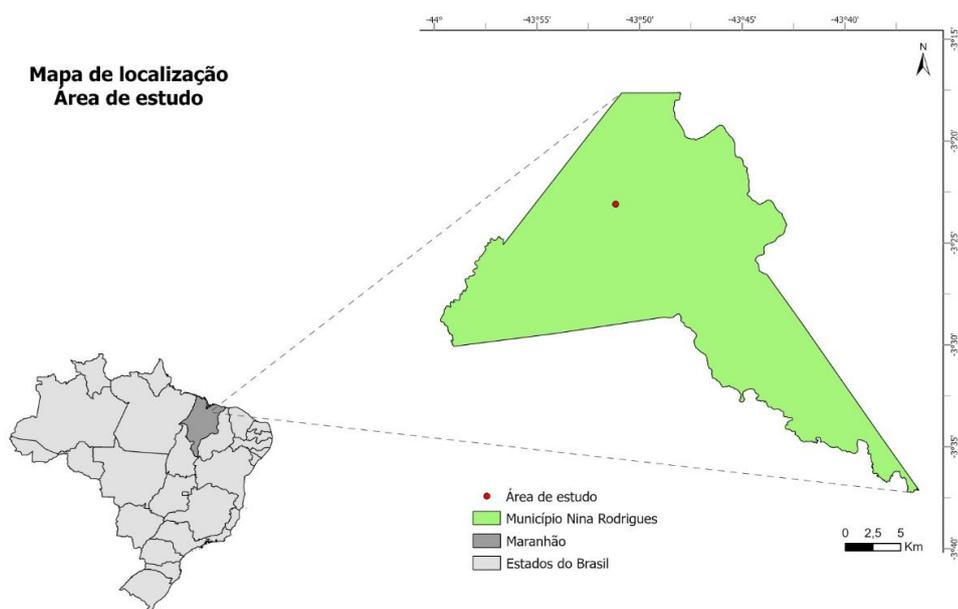
Em soja, o uso de sementes ricas em Mo aumentou a produtividade e o teor de proteína nos grãos e, na maioria dos casos, proporcionou autossuficiência na nutrição da cultura pela FBN (CAMPO et al., 2009). Em feijão-comum, Pacheco et al. (2012) verificaram que sementes com alto conteúdo de Mo aumentaram a produtividade. Esses benefícios foram mais eficazes quando combinadas com a inoculação com rizóbio do que quando combinada com a fertilização mineral com N. No feijão-caupi a dose de 850 g/ha de Mo aumentou o conteúdo de Mo na semente em 142 vezes em relação ao controle sem Mo, e o uso dessas sementes aumentou a nodulação, a concentração de N nas folhas, e a produtividade em até 70%, quando não foi aplicado N mineral em cobertura (BARBOSA et al., 2021).

Essa tecnologia do enriquecimento de sementes com Mo já é bem conhecida em feijão-comum e na soja (OLIVEIRA et al., 2020; CORTESE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2017; PACHECO et al., 2013; CAMPO et al., 2009; VIEIRA et al., 2005, 2011a, 2014, 2015, 2016), mas no feijão-caupi muitos avanços ainda são necessários.

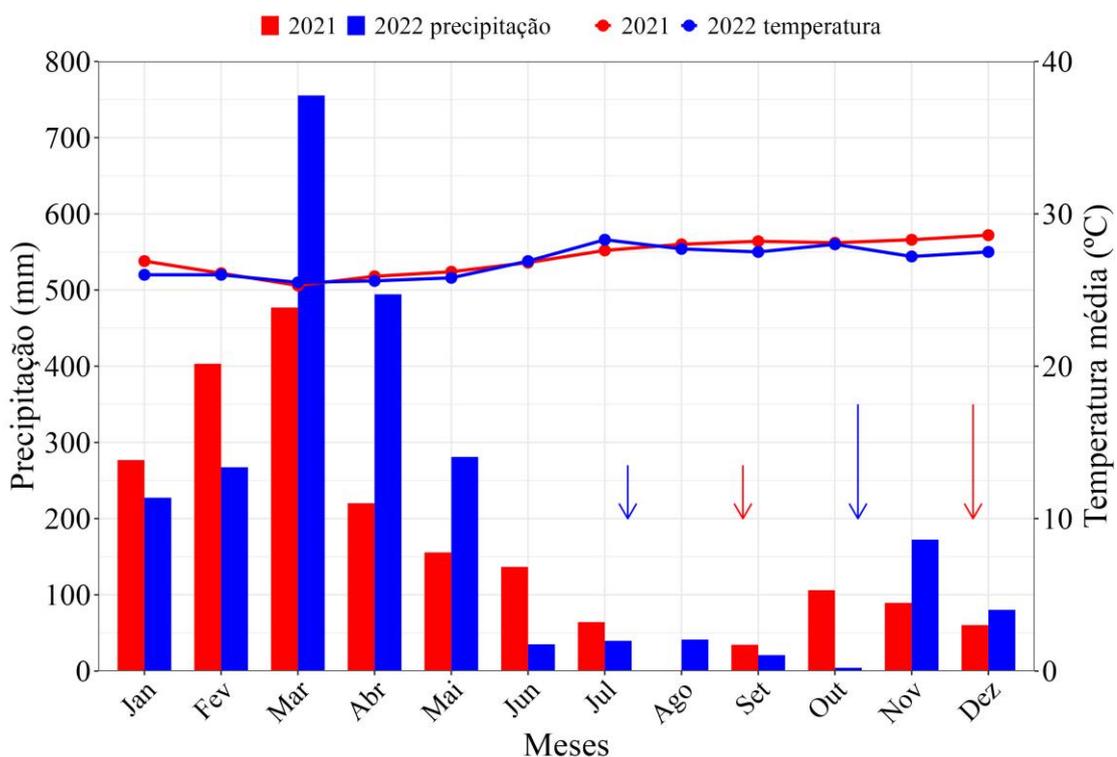
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local e caracterização da área experimental**

Foram conduzidos três experimentos em campo, na comunidade quilombola “Balaiada”, situada no município de Nina Rodrigues/MA (3°23’695” de Latitude-Sul e 43°51’105” de Longitude-Oeste, e altitude de 25 metros) (Figura 1). Dois experimentos foram conduzidos com aplicação de Mo na folhagem: um de 20 de setembro a 14 de dezembro de 2021 e outro de 11 de julho a 4 de outubro de 2022. E em 2021 foi conduzido um experimento sem aplicação de Mo na folhagem, no mesmo período do experimento com Mo.



**Figura 1:** Localização da comunidade Balaiada, município de Nina Rodrigues -MA, onde foram conduzidos os experimentos.



**Figura 2:** Precipitação e temperatura média mensal estimada no município de Nina Rodrigues -MA, 2021 e 2022. Setas pequenas indicam o plantio e setas grandes indicam início da colheita.

Fontes: Precipitação (CEMADEN-estação Meteorológica de Vargem Grande-MA), temperatura (INMET)

O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Aw' (tropical com inverno seco e chuvas no verão e outono). A precipitação pluviométrica e a temperatura ocorrida durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 2. O solo é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico (EMBRAPA, 2013). As características físico-químicas do solo foram determinadas na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Características físico-químicas do solo antes da instalação dos experimentos, na profundidade de 0-20 cm, em 2021 e 2022, Nina Rodrigues, Maranhão.

<b>Característica do solo</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
pH <sup>a</sup>	3,4	4,0
MO <sup>b</sup> (g dm <sup>-3</sup> )	14,0	23,0
P <sup>b</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	4,0	7,0
K <sup>b</sup> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	2,8	3,1
Ca <sup>b</sup> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1,0	8,0
Mg <sup>b</sup> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	7,0	8,0
H + Al <sup>b</sup> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	27,0	24,0
CTC <sup>c</sup> (mmolc/dm <sup>3</sup> )	42,9	49,7
Areia grossa (g/kg)	90	200
Areia fina (g/kg)	570	580
Silte (g/kg)	260	120
Argila (g/kg)	80	100

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

<sup>b</sup>De acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).

<sup>c</sup>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 experimentos foram conduzidos com 20 genótipos de feijão-caupi do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-Caupi da Embrapa Meio-Norte (Teresina, PI) (Tabela 2). Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Nos experimentos com aplicação de Mo, as parcelas foram constituídas de três fileiras de 4 m, espaçadas de 0,60 m. Foram semeadas 12 sementes por metro de sulco. As duas fileiras laterais e 0,50 m de cada extremidade da fileira central foram consideradas bordadura. A área útil das parcelas foi 1,8 m<sup>2</sup>. O experimento sem Mo foi instalado adjacente ao experimento com Mo para avaliar o acúmulo de Mo nas sementes proveniente das reservas naturais do solo. Nesse experimento, as

parcelas foram constituídas por uma fileira de 1 m de comprimento, espaçadas de 0,60 m. A área útil foi de 0,6 m<sup>2</sup>.

**Tabela 2:** Descrição, parentais, subclasse comercial e porte dos genótipos de feijão-caupi usados no estudo, em Nina Rodrigues, Maranhão.

Genótipos	Parentais	Subclasse comercial	Porte da planta
1=MNC11-1013E-33	MCNC01-510F x Pingo de Ouro-1-2	Mulato	Ereto
2=MNC11-1013E-15	MCNC01-510F x Pingo de Ouro-1-2	Mulato	Ereto
3=MNC11-1013E-35	MCNC01-510F x Pingo de Ouro-1-2	Sempre-verde	Semiereto
4=MNC11-1018E-17	MNC02677F-2-2 x MNC01-631-20-5 x Pingo de Ouro-1-2	Sempre-verde	Semiprostrado
5=MNC11-1019E-8	MNC-631F-11 x Canapuzinho-2 x MNC02-677F-2-1	Mulato	Semiereto
6=MNC11-1019E-12	MNC-631F-11 x Canapuzinho-2 x MNC02-677F-2-1	Mulato	Semiereto
7=MNC11-1019E-46	MNC-631F-11 x Canapuzinho-2 x MNC02-677F-2-1	Mulato	Semiprostrado
8=MNC11-1022E-58	MNC02-689F-11 x MNC01-631F-20-5 x MNC99-510F-16-1	Mulato	Semiprostrado
9=MNC11-1024E-1	MNC02-689F-11 x MNC99-510F-16-1 x Pingo de Ouro-1-2	Mulato	Semiereto
10=MNC11-1026E-15	MNC02-689F-11 x MNC01-631F-16-1 x Canapuzinho-1-2	Mulato	Semiprostrado
11=MNC11-1026E-19	MNC02-689F-11 x MNC01-631F-16-1 x Canapuzinho-1-2	Mulato	Semiereto
12=MNC11-1031E-5	MNC02-689F-11 x MNC02-680F-1-2	Sempre-verde	Ereto
13=MNC11-1031E-11	MNC02-689F-11 x MNC02-680F-1-2	Mulato	Semiereto
14=MNC11-1034E-2	MNC01-631F-20-5 x Pingo de ouro-1-2 x MNC02-761F-2	Mulato	Semiprostrado
15=MNC11-1052E-3	Bico de Ouro-1-2-1 x MNC01-631F-20-5 x MNC99-510F-16-1	Canapu	Semiprostrado
16=BRS Pajeú	CNCx405-17F x 1836-013J	Mulato	Prostrado
17=BRS Rouxinol	TE86-75-57E x TEx1-69E	Sempre-verde	Semiprostrado
18=MNC11-1020E-16	MNC02-689F-11 x MNC02-677F-2-1	Mulato	Semiprostrado
19=BRS Marataoã	Seridó x TVx1836-013J	Mulato	Prostrado
20=BRS Guariba	IT85F-2687 x TE87-98-8G	Branco	Semiereto

### 3.3 Instalação e condução dos experimentos

#### 3.3.1 Multiplicação das sementes obtidas da Embrapa

As sementes recebidas da Embrapa Meio-Norte foram multiplicadas no período de maio a agosto de 2021, sem adubação com Mo. Nessa multiplicação, foram distribuídos 600 kg/ha do formulado 4-14-8 (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O) no sulco de plantio e 67 kg/ha de N em cobertura. Metade

do N foi aplicado aos 15 dias após a emergência (DAE) e metade aos 25 DAE. O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco com 5 cm de profundidade e a 10 cm da fileira de plantas. Em seguida, esse sulco foi coberto com uma camada de terra. Logo após, foi realizada uma irrigação de 30 minutos para minimizar a volatilização. A fonte de N foi ureia (45% de N).

Após a colheita, as sementes foram selecionadas para a retirada de impurezas e de sementes danificadas por insetos ou com outros danos mecânicos. Em seguida, foram acondicionadas em garrafas PET e guardadas em um refrigerador até o plantio dos experimentos. Nesse processo de multiplicação de sementes não foram realizadas avaliações.

### *3.3.2 Pré-plantio, plantio e condução dos experimentos*

Na área do ensaio, a vegetação nativa foi eliminada com roçadeira manual e toda a palhada foi deixada sobre a superfície do solo. Não foi feito preparo de solo, tampouco aplicação de calcário, conforme fazem os agricultores locais.

No momento do plantio, as sementes foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1% e em seguida semeadas. Logo após o plantio, a área foi irrigada por 60 minutos. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas como na multiplicação de sementes.

Nos experimentos com Mo, todos os genótipos receberam 450 g/ha de Mo aplicado na folhagem, parcelada nestas fases de desenvolvimento: 50 g/ha na pré-floração-estádio R1 (~30 DAE), 200 g/ha na floração-estádio R2 (~40 DAE) e 200 g/ha na formação das vagens-estádio R3 (~50 DAE). Na primeira aplicação, 50% das plantas da área útil tinham botão e/ou gema floral. Na segunda aplicação, 50% das plantas apresentavam pelo menos uma flor aberta e 10% das plantas estavam com a primeira vagem com até 5 cm. Na terceira aplicação, 50% das plantas apresentavam a primeira vagem com até 5 cm, e 20% das plantas apresentavam pelo menos uma vagem de 10 cm ou mais.

A aplicação do Mo na folhagem foi feita com pulverizador costal, equipado com bico XR 11002. Os volumes de solução por aplicação foram: 400 mL/parcela na primeira, 450 mL/parcela na segunda e 500 mL/parcela na terceira aplicação do Mo. O volume de solução era determinado por meio de testes realizados somente com água antes da aplicação do Mo. Um volume de água conhecido era adicionado no pulverizador (VC). Após a pulverização da parcela, era medido o volume de água que sobrou (VS). Por subtração era determinado o volume de água usado (VU):  $VU (ml) = VC - VS$ . Após três repetições era extraído uma média do volume necessário. Uma lona plástica foi usada entre as parcelas vizinhas para evitar deriva da solução com Mo. A fonte de Mo foi o molibdato de sódio ( $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ).

As plantas foram irrigadas por gotejamento até o fim do estágio R5 (grãos formados). As mangueiras com orifícios de gotejamento espaçados de 20 cm foram distribuídas ao lado do sulco de plantio. As plantas daninhas foram controladas com capinas manuais, quando necessário. Em 2021, para o controle de pulgão (*Aphis craccivora* Koch) foi aplicado óleo de nim (*Azadirachta indica*) na dose de 5 ml/L aos 10 e 15 DAE e estrato hidroalcolico de fumo (25 mL/L) + detergente neutro (15 mL/L) aos 24, 30 e 37 DAE. Em 2022, foi aplicado estrato alcóolico de folhas frescas de nim (2,5 mL/L) junto com detergente neutro (15 mL/L) aos 9 e 16 DAE, para controle de pulgão.

No experimento sem aplicação de Mo na folhagem, a densidade de semeadura, a adubação de plantio e de cobertura, as irrigações e os tratos culturais foram realizadas da mesma forma que nos experimentos com Mo.

### 3.4 Características avaliadas

Nas sementes usadas para o plantio dos experimentos foi quantificado o teor e conteúdo de Mo. Nos experimentos com Mo foram avaliados fechamento do dossel, acamamento das plantas, produtividade de sementes e componentes da produtividade, comprimento da vagem, comprimento da semente e o teor e conteúdo de Mo na semente. No experimento sem Mo foram avaliados a produtividade de sementes e o teor e conteúdo de Mo na semente.

**Fechamento do dossel:** foi mensurado no momento de cada aplicação de Mo pela observação visual da extremidade da parcela (olhando sobre as linhas) para estimar a proporção da superfície do solo visível entre as linhas, em que 100% representa a cobertura completa do solo pela folhagem das plantas, conforme descrito em Vieira et al. (2014).

**Acamamento:** essa avaliação foi realizada no momento da colheita, por uma escala de notas de 1 a 9, em que 1 correspondia a nenhuma planta acamada e 9 correspondia a 90% ou mais de plantas acamadas na área útil (SOULE et al., 2011).

**Produtividade de sementes e componentes da produtividade:** na colheita, foi avaliado a produtividade e os componentes da produtividade (estande final, número de vagens por planta e massa de 100 sementes). O estande final foi obtido pela contagem das plantas na área útil da parcela. Após a colheita foram contados o número total de vagens de cada parcela. O número de vagens por planta foi obtido da divisão entre o número de vagens e o estande final. Foram separadas duas amostras ao acaso de 100 sementes para avaliar a massa de 100 sementes. Foram realizadas três colheitas (2021, aos 64 DAE, 72 DAE e 80 DAE; em 2022, aos 62 DAE,

72 DAE e 82 DAE. A produtividade total foi obtida pela soma das três colheitas. A produtividade e a massa de 100 sementes foram padronizadas para 130 g/kg de água.

**Comprimento da vagem (cm):** foi obtido pela média do comprimento de 20 vagens selecionadas ao acaso na parcela.

**Comprimento da semente (mm):** foi avaliada pela média do comprimento de 20 sementes de uma das amostras de 100 sementes, com auxílio de paquímetro.

**Teor e conteúdo de Mo na semente:** Para quantificar o teor de Mo nas sementes, foram separadas amostras da primeira colheita e postas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até a massa constante. Depois as amostras foram pesadas e moídas. 0,5 g desse 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 por Vieira et al. (2014). Os conteúdos de Mo da semente ( $\mu\text{g}/\text{semente}$ ) foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) pela massa média de uma semente seca (g). A massa de uma semente seca foi estimada pela amostra de sementes secas na estufa.

### 3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilks) e a homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett). Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e as médias das variáveis dependentes foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). Nos experimentos com Mo, foi realizada análise de componentes principais (ACP) para verificar a relação entre as variáveis dependentes e explorar a similaridade entre os genótipos na capacidade em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem e produzir grãos. As cargas derivadas da ACP (Dim 1 ou Dim 2) foram usadas para identificar as variáveis dependentes obtidas nos experimentos com Mo que se correlacionam entre si em um particular componente principal da análise. A ACP foi feita com auxílio do pacote factextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2017). Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R version 4.2.0 (R core Team, 2022).

## **4 RESULTADOS**

### **3.1 Teor e conteúdo de Mo nas sementes usadas no plantio dos experimentos**

Nas sementes usadas para o plantio dos experimentos, apenas no cultivar BRS Guariba foi detectado Mo. O teor de Mo na semente foi 3 µg/g e o conteúdo de Mo numa semente foi 0,5 µg.

### **3.2 Fechamento do dossel e produtividade**

Em 2021, na primeira aplicação de Mo, o fechamento do dossel era de 57%; na segunda, de 75%; e na terceira, de 97%. Em 2022, as percentagens foram, respectivamente, 61%, 80% e 87%. Em 2021 e 2022, o cultivar BRS Guariba teve o menor fechamento de dossel em relação aos demais genótipos, com médias de 52% e 54% na primeira avaliação, 65% e 69% na segunda e 92% e 76% na terceira avaliação, respectivamente.

Em 2021, os genótipos influenciaram a produtividade ( $P = 0,017$ ) (Figura 3a), mas não influenciaram em 2022 ( $P = 0,516$ ; CV = 19,2%; média = 218 g/m<sup>2</sup>). Em 2021, houve a formação de dois grupos de genótipos quanto à produtividade. A produtividade média foi 172 g/m<sup>2</sup>, e variou de 118 g/m<sup>2</sup> (BRS Pajeú) a 210 g/m<sup>2</sup> (MNC11-1024E-1) (Figura 3a). No grupo mais produtivos, a média da produtividade foi 28% maior em relação aos genótipos menos produtivos.

No experimento sem Mo, os genótipos não influenciaram a produtividade ( $P = 0,373$ ,  $F_{19,57} = 1,10$ , CV=36%), que variaram de 148 a 277 g/m<sup>2</sup>.

### **3.3 Teor e conteúdo de Mo na semente sem aplicação de Mo na folhagem**

Nesse experimento, não foi detectado Mo nas sementes de nenhum dos genótipos estudados.

### **3.4 Teor e conteúdo de Mo na semente com aplicação de Mo na folhagem**

Os genótipos influenciaram o teor de Mo (2021:  $P < 0,001$ , CV = 9,2%; 2022:  $P < 0,047$ , CV= 8,9%) e o conteúdo de Mo na semente (2021:  $P < 0,001$ , CV = 9,3%; 2022:  $P < 0,001$ , CV=10,3%). Nos dois experimentos as médias foram agrupadas na formação de dois grupos

tanto para o teor quanto para o conteúdo de Mo na semente. No geral, o conteúdo de Mo na semente variou de 5,8 µg/sememente (BRS Guariba, 2021) a 9,7 µg/sememente (MNC11-1031E-5, 2022).

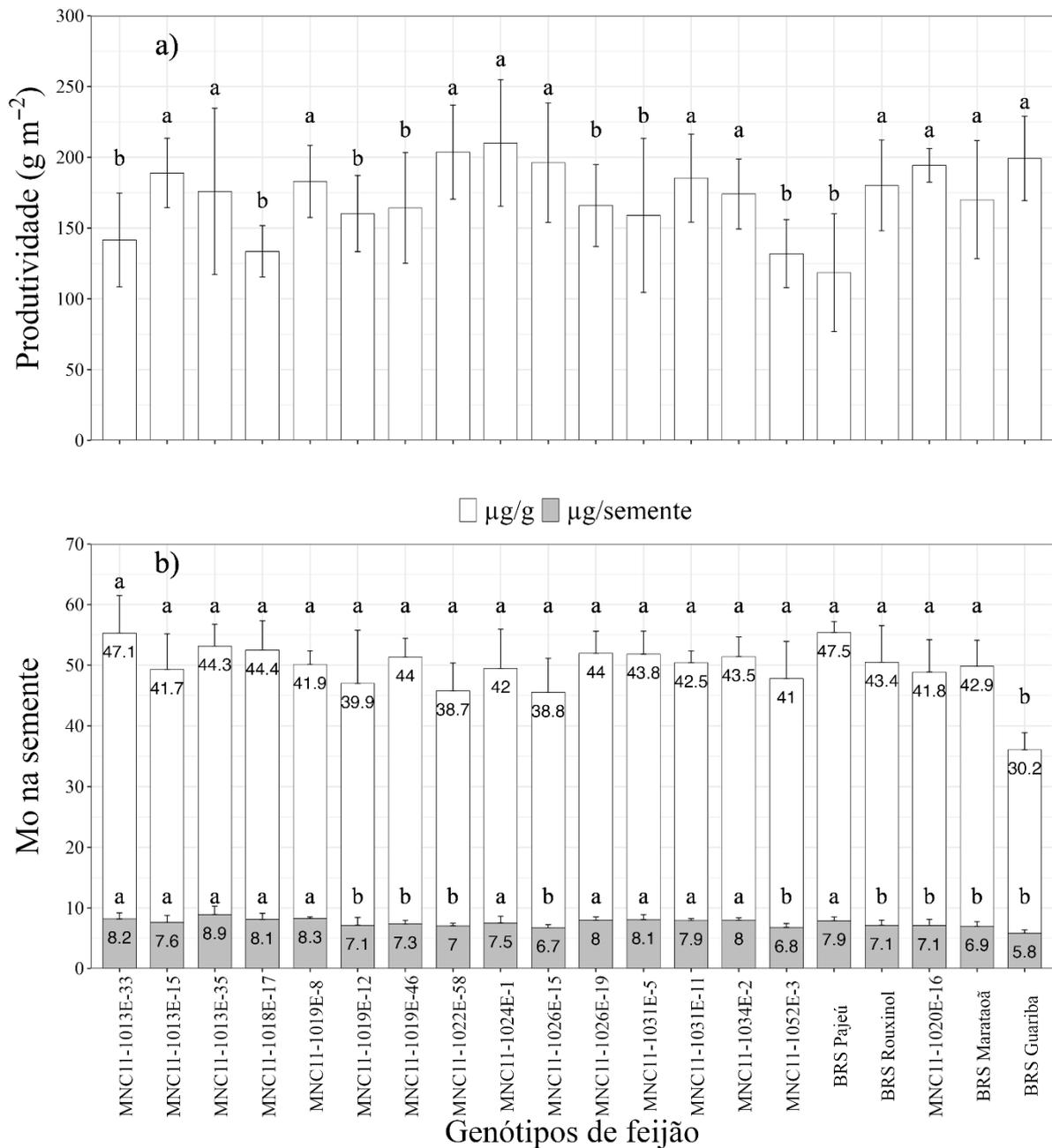
Em 2021, o teor de Mo na semente variou de 30,2 a 47,5 µg/g com média de 42,1 µg/g, e o conteúdo de Mo na semente, de 5,8 a 8,9 µg/sememente com média de 7,5 µg/sememente (Figura 3b). O grupo com menor teor de Mo na semente foi formado apenas pelo genótipo BRS Guariba, com média de 30,2 µg/g. Onze genótipos formaram o grupo com maior conteúdo de Mo na semente (Figura 3b). A média do conteúdo de Mo nas sementes desse grupo de genótipos foi 8,0 µg/sememente.

Em 2022, o teor de Mo na semente variou de 37,4 a 47 µg/g com média de 42,5 µg/g, e o conteúdo de Mo na semente, de 7,1 a 9,7 µg/sememente com média de 8 µg/sememente (Figura 4). Nesse experimento, nove genótipos formaram o grupo com maior teor de Mo nas sementes, e os genótipos MNC11-1013E-33, MNC11-1019E-12, MNC11-1019E-46, MNC11-1031E-5, MNC11-1034E-2, e MNC11-1020E-16 apresentaram maior conteúdo de Mo na semente (Figura 4). A média do conteúdo de Mo nas sementes desse grupo de genótipos foi 8,9 µg/sememente.

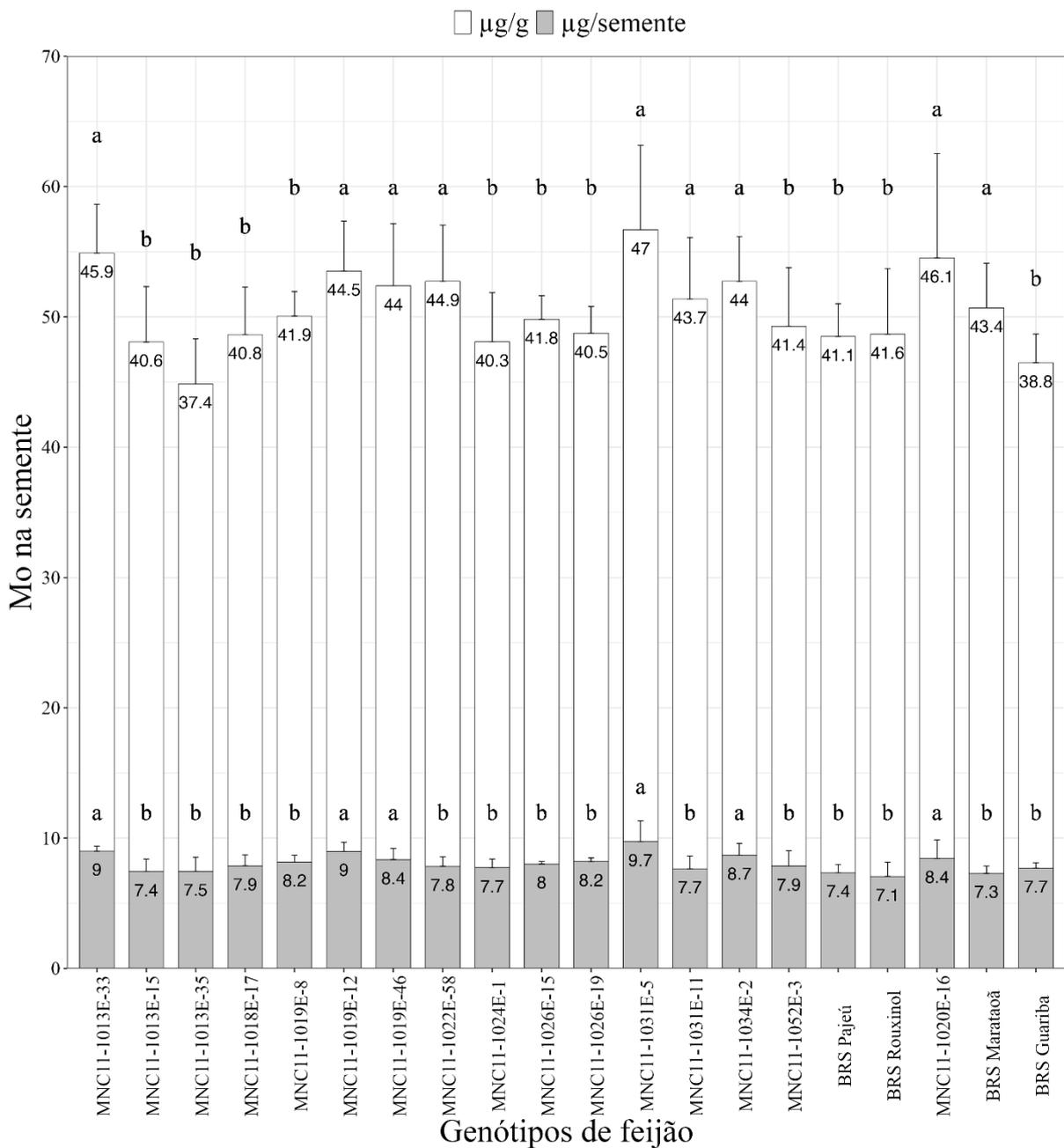
Dentre os genótipos que apresentaram maior conteúdo de Mo na semente no experimento de 2022, somente as linhagens MNC11-1031E-5, MNC11-1013E-33 e MNC11-1034E-2 estavam no grupo de genótipos de maior conteúdo de Mo na semente no ano anterior. Em 2021, a média do conteúdo de Mo nas sementes desses três genótipos foi 8,1 µg/sememente, que superou em 17,4% a média do conteúdo de Mo na semente dos genótipos que ficaram no grupo das menores médias representadas pela letra b (6,9 µg/sememente) (Figura 3b). Em 2022, a média do conteúdo de Mo na semente desses três genótipos foi 9,1 µg/sememente, que superou em 18,2% a média do conteúdo de Mo na semente do grupo de genótipos que apresentaram as menores médias representadas pela letra b (7,7 µg/sememente) (Figura 4)

Os genótipos MNC11-1022E-58, MNC11-1026E-15, MNC11-1052E-3, BRS Rouxinol, BRS Marataoã e BRS Guariba estavam no grupo de menor conteúdo de Mo na semente nos dois experimentos. Dentre eles o cultivar BRS Guariba apresentou menor média, mas não diferiu estatisticamente dos demais. Na média dos dois experimentos o conteúdo de Mo na semente desses genótipos foi 7,2 µg/sememente.

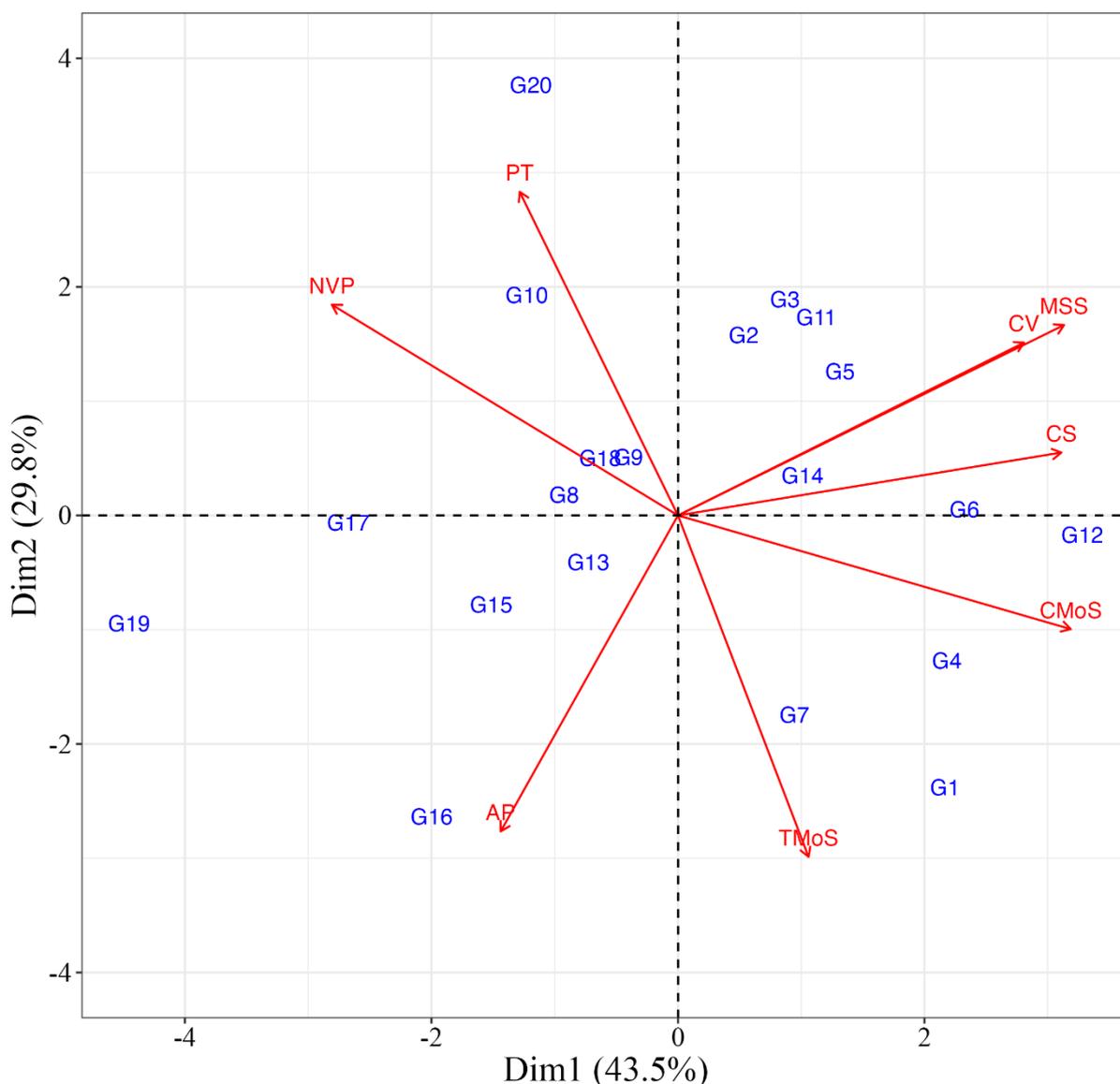
Na média dos dois experimentos o conteúdo de Mo na semente das linhagens MNC11-1031E-5, MNC11-1013E-33 e MNC11-1034E-2 foi 8,6 µg/sememente que supera em 19,6% a média do conteúdo de Mo na semente dos genótipos que estavam no grupo que menos acumularam Mo na semente nos dois experimentos.



**Figura 3:** Efeito do Mo aplicado na folhagem de 20 genótipos de feijão-caupi sobre produtividade (a) e teor e conteúdo de Mo na semente (b) (n=4), Nina Rodrigues/MA, 2021. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). A barra de erro representa o desvio-padrão. O valor dentro da barra branca representa a média do teor de Mo na semente e o valor dentro da barra cinza representa a média do conteúdo de Mo na semente.



**Figura 4:** Efeito do Mo aplicado na folhagem de 20 genótipos de feijão-caupi sobre o teor e conteúdo de Mo na semente (n=4), Nina Rodrigues/MA, 2022. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ). A barra de erro representa o desvio-padrão. O valor dentro da barra branca representa a média do teor de Mo na semente e o valor dentro da barra cinza, a média do conteúdo de Mo na semente.



**Figura 5:** Análise de componentes principais com as variáveis teor de Mo na semente (TMoS), conteúdo de Mo na semente (CMoS), produtividade total (PT), número de vagens por planta (NVP) massa de cem sementes (MSS), comprimento da vagem (CV) e da semente (CS) e acamamento da planta (AP) de 20 genótipos (G) de feijão-caupi, Nina Rodrigues/MA, 2021 e 2022.

A soma dos dois primeiros componentes principais explicou 73,3% da variação total dos dados. O conteúdo de Mo na semente, massa de cem sementes, comprimento da semente e da vagem apresentaram correlação positiva, e o número de vagens por planta apresentou correlação negativa com a componente Dim1. O teor de Mo na semente e o acamamento da planta apresentaram correlação negativa, e a produtividade total apresentou correlação positiva com a componente Dim2 (Figura 5).

O conteúdo de Mo na semente correlacionou positivamente com o comprimento da semente ( $r = 0,59$ ;  $P = 0,006$ ) e com a massa de cem sementes ( $r = 0,61$ ;  $P = 0,004$ ) e negativamente com o número de vagens por planta ( $r = -0,61$ ;  $P = 0,004$ ) (Figura 4). A produtividade total correlacionou positivamente com o número de vagens por planta ( $r = 0,64$ ;  $P = 0,002$ ) (Figura 5).

As linhagens MNC11-1031E-5 (G12) e MNC11-1013E-33 (G1) apresentaram maior relação com o teor e conteúdo de Mo na semente, enquanto o cultivar BRS Guariba apresentou menor relação com essas variáveis (Figura 5). Na média dos dois experimentos, o conteúdo de Mo na semente ( $6,8 \mu\text{g/semte}$ ) obtido no cultivar BRS Guariba (G20) foi 33% menor que o conteúdo de Mo na semente ( $8,9 \mu\text{g/semte}$ ) obtido na linhagem MNC11-1031E-5 (G12), que apresentou maior média entre todos os genótipos.

O genótipo MNC11-1026E-15 (G10) apresentou maior relação com a produtividade e os genótipos MNC11-1022E-58 (G8), MNC11-1024E-1 (G9) e MNC11-1020E-16 (G18) apresentaram maior relação com o número de vagens por planta. Os genótipos que apresentaram maior relação com o acamamento foram BRS Pajeú (G16), BRS Rouxinou (G17), BRS Marataoã (G19), MNC11-1052E-3 (G15) e MNC11-1031E-11 (G13) (Figura 5). Entre eles, os genótipos BRS Marataoã, BRS Rouxinou e MNC11-1052E-3 estavam entre os genótipos com menor conteúdo de Mo na semente nos dois experimentos.

## 5 DISCUSSÃO

Neste estudo avaliamos a variabilidade de 20 genótipos de feijão-caupi na capacidade em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem. Mostramos que houve variabilidade entre os genótipos na capacidade de acumular Mo na semente e que todos os genótipos acumularam na semente o Mo aplicado na folhagem.

Mostramos ainda que nas sementes usadas para o plantio dos experimentos não foi detectado Mo, exceto um baixo conteúdo de Mo nas sementes do cultivar BRS Guariba. E no experimento sem a aplicação de Mo na folhagem não foi detectado Mo nas sementes de nenhum dos genótipos estudados. Esse resultado sugere que a disponibilidade desse micronutriente nesse solo é baixa, insuficiente para as plantas acumularem reservas de Mo nas sementes. Essa baixa disponibilidade de Mo no solo pode estar associada ao baixo pH em  $\text{CaCl}_2$  (3,4 em 2021; 4,0 em 2022) (Tabela 1), que reduz a disponibilidade de Mo para as plantas devido ao aumento na adsorção do Mo pelos óxidos de Fe e Al (OLIVEIRA et al., 2015b; OLIVEIRA et al., 2017). A textura franco-arenosa e o baixo teor de matéria orgânica (Tabela 1) são outros fatores que

também podem contribuir para essa baixa disponibilidade de Mo (COELHO et al., 2000; GUPTA, 1997; GUPTA; MAKAY, 1965).

Esse resultado alerta para a importância de se realizar fertilização molíblica nesses solos de forma preventiva para evitar que ocorra deficiência de Mo nas plantas, especialmente em culturas leguminosas, uma vez que essas culturas são mais exigentes em Mo do que os demais vegetais, em razão da função enzimática que o Mo desempenha na fixação biológica de N (MENDEL et al., 2011; KAISER et al., 2005).

A não detecção de Mo nas sementes quando os genótipos não receberam Mo na folhagem indicam que o Mo acumulado nas sementes desses genótipos nos experimentos com Mo, provem em grande parte do Mo aplicado na folhagem. Esses resultados sugerem, portanto, que a aplicação de Mo na folhagem é eficiente em aumentar o conteúdo de Mo na semente em feijão-caupi e corrobora com os resultados de Barbosa et al. (2021). Em feijão-comum, (VIEIRA et al., 2014, 2016; PACHECO et al., 2012) e em soja (CORTESE et al., 2019; CAMPO et al., 2009; MILANE et al., 2008) também se demonstrou a eficiência de o Mo acumular na semente. Barbosa et al. (2021) obtiveram aumento no conteúdo de Mo na semente de feijão-caupi de 142 vezes com a aplicação foliar de 850 g/ha de Mo em relação ao controle sem Mo.

Acreditamos que o menor fechamento do dossel do cultivar BRS Guariba durante o desenvolvimento vegetativo possa ter influenciado no acúmulo de Mo nas sementes desse genótipo, uma vez que isso diminui a interceptação da solução de Mo aplicada na folhagem. Em feijão-comum, Vieira et al. (2014) também verificaram que o acúmulo de Mo na semente geralmente foi menor em genótipos que apresentaram menor fechamento do dossel.

Contudo, o conteúdo de Mo na semente do cultivar BRS Guariba na média dos dois experimentos superou em aproximadamente três vezes o conteúdo de Mo na semente obtido nesse mesmo cultivar na Zona da Mata, MG, em um estudo realizado por Barbosa et al. (2021). Esse resultado pode ser um indicativo de que, nas condições edafoclimáticas do tropico úmido maranhense, o feijão-caupi apresenta alta eficiência em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem. No estudo de Barbosa et al. (2021), a produtividade alcançada foi 210 g/m<sup>2</sup>, que supera em 22% a produtividade média do experimento de 2021, mas é semelhante à produtividade média do experimento de 2022. Isso explica, em parte, o menor conteúdo de Mo alcançado por esses autores, mas há de se considerar que a dose de Mo usada por eles foi 2 vezes maior que a dose usada em nosso estudo.

Os resultados expressados pelos genótipos MNC11-1031E-5, MNC11-1013E-33 e MNC11-1034E-2 na capacidade de acumular Mo na semente pode ser um indicativo de que

essas linhagens requerem menor dose de Mo para produzir sementes ricas em Mo. Esses genótipos não se destacaram dos demais em relação ao fechamento do dossel de forma que esse mecanismo pudesse explicar o maior teor de Mo na semente. Isso implica afirmar que a capacidade desses genótipos em acumular Mo na semente pode estar relacionada a outros fatores, possivelmente a mecanismos fisiológicos. Genótipos podem diferir nos mecanismos e/ou eficiência pela qual o Mo é carregado através do floema, que são geneticamente determinados. Fisiologicamente, a capacidade de um genótipo de acumular Mo em sementes está relacionada a sua capacidade de redistribuição do Mo de outras partes da planta para as sementes (BRODRICK; GILLER, 1991).

Esse conhecimento é importante para que o uso do fertilizante molíbdico seja feito de forma eficiente para aumentar o conteúdo de Mo na semente (VEIRA et al., 2014). Entretanto, são necessários mais estudos em feijão-caupi para melhor compreendermos a variabilidade na capacidade em acumular Mo na semente e investigar outras características, além do fechamento do dossel, que possam ter relação com o acúmulo de Mo na semente, para desvendar mais mecanismos que determinam essa variabilidade. Bem como, a avaliação de um germoplasma mais diversificado do que o usado em nossa pesquisa, inclusive com a inclusão de variedades tradicionais, visto que o feijão-caupi possui ampla variabilidade genética e diversidade de germoplasma (ZEFEIRIOU et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2015; FREIRE FILHO et al., 2011).

Na média dos dois experimentos, a maior diferença observada no conteúdo de Mo na semente (33%, MNC11-1031E-5 em relação ao BRS Guariba) em nosso estudo foi menor em relação a outros estudos realizados em feijão-comum quando a principal fonte de Mo era o solo (BRODRICK et al., 1995) ou quando este foi aplicado na folhagem (VIEIRA et al., 2014). Possivelmente, a similaridade entre os genótipos usados em nossa pesquisa contribuiu para essa menor variabilidade. O feijão-caupi é classificado em três classes comerciais (branca, cores e preta), que são subdivididas em subclasses (FREIRE FILHO et al., 2011). Em nosso estudo, com exceção do cultivar BRS Guariba (classe branca), todos os outros genótipos pertencem à classe comercial cores. Destes, 14 pertencem à mesma subclasse comercial dentro desta classe. Além disso, parte dos genótipos possuem parentais semelhantes (Tabela 2). Em feijão-comum há indícios de que a cor do tegumento do grão pode ter algum tipo de influência sobre a capacidade de genótipos em acumular Mo na semente (Vieira et al. 2014).

Os valores de teor e conteúdo de Mo na semente obtidos em nosso estudo são relativamente altos quando comparado aos obtidos com outras leguminosas. Em soja, Cortese et al. (2019) e Campo et al. (2009) determinaram teores de Mo na semente entre 13,5 e 72  $\mu\text{g/g}$ , com doses de Mo de 400 a 800 g/ha. Vieira et al. (2005) e Vieira et al. (2011b) obtiveram

conteúdos de Mo na semente de feijão-comum entre 1,27 e 6,96  $\mu\text{g}/\text{semente}$  em plantas pulverizadas com doses de Mo de 1440 e 4000 g/ha. Essa última, 8,9 vezes maior que a dose usada no presente estudo. Vieira et al. (2016) determinaram teores de Mo na semente de até 10,2  $\mu\text{g}/\text{semente}$  com o parcelamento da dose de Mo de 600 g/ha na fase reprodutiva. Na média dos dois experimentos, o conteúdo de Mo na semente obtido em nossa pesquisa é 2,1 vezes maior que o conteúdo de Mo na semente crítico (3,6  $\mu\text{g}/\text{semente}$ ) para o cultivo de feijão-comum irrigado em solo pobre em Mo (VIEIRA et al., 2011b). Isso significa que o para se produzir sementes de feijão-caupi ricas em Mo no trópico húmido maranhense com esse conteúdo de Mo, pode-se usar doses menores de Mo. Embora não saibamos ainda o nível crítico de conteúdo de Mo para o feijão-caupi, os resultados de Barbosa et al. (2021) apontam que o conteúdo de 2  $\mu\text{g}/\text{semente}$ , aumentou a produtividade em até 70% quando não se usou N em cobertura.

Em relação à produtividade, nossos resultados sugerem que o número de vagens por planta é o componente que mais contribui para aumentar a produtividade e que os genótipos estudados se adaptam bem as condições do trópico úmido maranhense. Entretanto, vale ressaltar que os cultivares BRS Pajeú, BRS Marataoã estavam no grupo de genótipos que mais acamaram e pode ser um indicativo que esses cultivares são susceptíveis a sofrer acamamento. As médias da produtividade obtidas em nosso estudo nos dois experimentos superam em 3,4 e 4,4 vezes a produtividade média do caupi no Brasil, 492 kg/ha (CONAB, 2022) e no trópico úmido maranhense, ~500 kg/ha (BARBOSA et al., 2021).

## **6 CONCLUSÃO**

Nossos resultados sugerem que há variabilidade entre os genótipos de feijão-caupi quanto a capacidade de acumular na semente o Mo aplicado na folhagem.

No trópico úmido maranhense, o feijão-caupi possui alta eficiência em acumular na semente o Mo aplicado na folhagem.

Mais estudos são necessários para uma melhor compreensão da variabilidade genotípica na capacidade de acumular Mo na semente, com a investigação de um germoplasma mais diversificado, inclusive com a inclusão variedades tradicionais, bem como conhecer melhor as características que determinam essa variabilidade.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ARAÚJO, M. D. S.; SANTOS, S. P. D.; ARAGÃO, W. F. L. D.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. D. M. Selection of superior cowpea lines for multi-traits and adaptabilities to the Piauí semi-arid using genotype by yield\* trait biplot analysis. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e011921, 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.
- BANERJEE, P.; NATH, R. Prospects of molybdenum fertilization in grain legumes-A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, p. 1425-1440, 2022.
- 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.
- BENVINDO, R. N.; SILVA, J. A. L.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; BEZERRA, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro irrigado. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p 23-28, 2010.
- BRITO, M. D. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. D. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, v. 70, p. 206-215, 2011.
- BRODRICK, S. J.; GILLER, K. E. Genotypic Difference in Molybdenum Accumulation Affects N<sub>2</sub>-fixation in Tropical *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 10, p. 1339-1344, 1991.
- 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**, v. 13, p. 39-44, 1992.
- BRODRICK, S. J.; AMIJEE, F.; KIPE-NOLT, J. A.; GILLER, K.E. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. **Tropical agriculture**, v. 72, p. 277-284, 1995.
- 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. 110, n. 3, p. 219-224, 2009.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. D. A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. D.; ROCHA, M. D. M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, p. 110-116, 2000.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS-CEMADEN. Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden. Disponível em: <www.cemaden.gov.br/mapainterativo/. Acesso em: 19/01/2023.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R.; TEIXEIRA, M. G. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum improve the contribution of biological nitrogen fixation to common bean as estimated by <sup>15</sup>N isotope dilution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1093-1101, 2010.

CHATTERGEE, R.; BANYOPADHYAY, S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 332-336, 2017.

COELHO, H. D'A.; LAGE, K. A.; FIGUEIREDO, L. H. A.; MELLO, J. W. V. Estudo da adsorção de molibdênio em quatro solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 47, n. 274, p. 579-590, 2000.

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.

CORTESE, D.; PIEROZAN JUNHOR, C.; WALTER, J. B.; CORTESE, D.; OLIVEIRA, S. M. Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. **Journal of Seed Science**, v.41, p.144-150, 2019.

DHALIWAL, S. S.; SHARMA, V.; SHUKLA, A. K.; 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, p. 3622, 2022.

DUTRA, A. S.; BEZERRA, F. T. C.; NASCIMENTO, P. R.; LIMA, D. D. C. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, p. 816-821, 2012.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FARIAS, T. P.; TROCHMANN, A.; SOARES, B. L.; MOREIRA, F. M. S. Rhizobia inoculation and liming increase cowpea productivity in Maranhão State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, p. 387-395, 2016a.

FARIAS, T. P.; SOARES, B. L.; ARAÚJO, A. R. A. D.; MOREIRA, F.; DE SOUZA, M. A. R. I. A. Symbiotic efficiency of rhizobia strains with cowpea in Southern Maranhão. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 611-618, 2016b.

FOGAÇA, J. J. N. L.; CAIRO, P. A. R.; CARDOSO, A. D.; JOSÉ, A. R. S.; VASCONCELOS, R. C. D.; SOUZA, U. D. O.; NUNES, R. T. C. Yield and profitability responses of cowpea to cropping systems and sowing seasons in Vitória da Conquista, Bahia State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, 1.53467, 2022.

FREIRE FILHO, F. R. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. 2011. *In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO*, 4., 2011, Teresina, PI, 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. D. M.; SILVA, K.; RIBEIRO, V. Q.; NOGUEIRA, M. D. S. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético e perspectivas. *In: VIDAL NETO, F. C.; CAVALCANTI, J. J. V. (Ed.). Melhoramento genético de plantas no Nordeste*. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 85-149, Cap. 4.

GEWERH, E.; CORRÊA, O. O.; SUÑÉ, G. B. D.; AMARANTE, L.; TUNES, L. V. M.; RODRIGUES, D. B. Tratment of soybean seeds with molybdenum and inoculant: nitrate reductase activity and agronomy performance. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 10, p. 185-194, 2019.

GOLDBERG, S.; LESCH, S. M.; SUAREZ, D. L. Predicting molybdenum adsorption by soils using soil chemical parameters in the constant capacitance model. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1836-1842, 2002.

GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R. D.; XAVIER, G. R. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 303-308, 2011.

GUDIÑO–GOMEZJURADO, M. E.; LEITE, R. D. A.; CARVALHO, T. S. D.; PFENNING, L. H.; MOREIRA, F. M. D. S. Phosphate–solubilizing fungi co–inoculated with Bradyrhizobium promote cowpea growth under varying N and P fertilization conditions. **Scientia Agricola**, v.79, e20210061, 2022.

GUPTA, U. C. Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants. *In: GUPTA, U. C. Molybdenum in agriculture*. Cambridge: Cambridge University Press, 199. cap. 5, p. 71-91.

GUPTA, U. C.; MACKAY, D. C. The Relationship of Soil Properties to Exchangeable and Water-Soluble Copper and Molybdenum Status in Podzol Soils of Eastern Canada. **Soil Science Society of America Journal**, v. 30, n. 3, p. 373-375, 1966.

HAMAGUCHI, H.; WATANABE, K.; MATSUO, K.; UMEMOTO, M.; TAKAHASHI, M.; WATANABE, Y.; ITOH, K. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 85, n. 2, p. 130-137, 2016.

HARSHINI, K.; SINGH, V.; GEORGE, S. G.; SINGH, S. K. Effect of Molybdenum and Bio-fertilizers on Growth and Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). **International Journal of Plant & Soil Science**. v. 34, p. 92-98, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. Disponível em:<  
<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>>. Acesso em: 19/01/2023.

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.

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.

JIANG, W.; YANG, Z.; YU, T.; HOU, C. Z.; ZHENG, G.; YANG, Z.; LI, J. Evaluation of the potential effects of soil properties on molybdenum availability in soil and its risk estimation in paddy rice. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 1520-1530, 2015.

KAISER, B. N.; GRIDLEY, R. L.; BRADY, J. N.; PHILIPS, T.; TYERMAN, S. D. The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production. **Annals of Botany**, v. 96, p. 745–754, 2005.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses\_. R package version 1.0.7, 2020.

KOVÁCS, B.; PUSKÁS-PRESZNER, A.; HUZSVAI, L.; LÉVAI, L.; & BÓDI, É. Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 38-44, 2015.

KUBOTA, Y. K.; ANDRADE NETO, A. C.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1635-1641, 2008.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NACIMENTO COSTA, C.; RIBEIRO, A. M. B. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 492-497, 2009a.

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**, v. 56, n. 2, p. 225-231, 2009b.

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

MENDEL, R. R.; BITTNER, F. Cell biology of molybdenum. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research**, v. 1763, n. 7, p. 621-635, 2006.

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

MICHEL, D. C.; VASQUES, I. C. F.; ARAÚJO, G. C. R.; CASTRO, J. L.; ASSIS, L. L. R.; REIS, R. H. C. L.; SILVA, M. S.; FAQUIM, V. Influence of molybdenum doses in inoculation and mineral fertilization in cowpea beans. **Bioscience Journal: Biosci. J.**, Uberlândia, v. 36, p. 102-112, 2020.

MILANI, G. L.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, L. H. C.; PINHO, É. V. D. R. V.; GUIMARÃES, R. M. Nodulação e desenvolvimento de plantas oriundas de sementes de soja teores de molibdênio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, p. 19-27, 2008.

MILANI, G. L.; OLIVEIRA, J. A.; PEREIRA, E. D. M.; CARVALHO, B. O.; OLIVEIRA, G. E.; COSTA, R. R. Leaf application of molybdenum during soybean seed maturation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 810-816, 2010.

MONTANHA, G. S.; DIAS, M. A. N.; CORRÊA, C. G.; DE CARVALHO, H. W. P. Unfolding the fate and effects of micronutrients supplied to soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) through seed treatment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 3194-3202, 2021.

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.

OMOMOWO, O. I.; BABALOLA, O. O. Constraints and prospects of improving cowpea productivity to ensure food, nutritional security and environmental sustainability. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, e751731, 2021.

OLIVEIRA, E.; MATTAR, E. P. L.; ARAÚJO, M. L.; JESUS, J. C. S.; NAGY, A. C. G.; SANTOS, V. B. Descrição de cultivares locais de feijão-caupi coletados na microrregião Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, p. 243-254, 2015a.

OLIVEIRA, C. O.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; PINTO, C. C.; SÁ, M. E. D. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 82-88, 2015b.

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.

OLIVEIRA, L. A. D.; PEREIRA, V. J.; SANTOS, M. G. P. D.; LANA, R. M. Q.; AGUILAR, A. S. Efecto del molibdeno en el frijol común de invierno (*Phaseolus vulgaris* L.): fertilización foliar y semillas enriquecidas. **Idesia (Arica)**, v. 38, p. 69-76, 2020.

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.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 401 p.

POSSENTI, J. C.; VILLELA, F. A. Afeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 143-150, 2010.

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

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

SCHWARZ, G.; MENDEL, R. R.; RIBBE, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. **Nature**, v. 460, p. 839-847, 2009.

SILVA, M. S. D.; OLIVEIRA, G. R. F. D.; MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W.; CAMARGOS, L. S. D.; DE SÁ, M. E.; REIS, A. R. D. New insights on molybdenum fertilization in common bean under no-tillage system: rates and application time to obtain high vigor seeds. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1420-1431, 2020.

SOULE, M.; PORTER, L.; MEDINA, J.; SANTANA, G. P.; BLAIR, M.; MIKLAS, P. N. Comparative QTL map for white mold resistance in common bean, and characterization of partial resistance in dry bean lines VA19 and I9365-3. **Crop Science**, v. 51, p. 123-39, 2011.

SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. D. M.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C. D.; & SOUSA, R. R. D. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 392-398, 2015.

SOUSA, T. D. J. F. D.; ROCHA, M. D. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; BERTINI, C. H. C. D. M.; SILVEIRA, L. M. D.; SOUSA, R. R. D.; SOUSA, J. L. M. Simultaneous selection for yield, adaptability, and genotypic stability in immature cowpea using REML/BLUP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e. 01234, 2019.

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

TEÓFILO, E. M.; DUTRA, A. S.; PITIMBEIRA, J. B.; DIAS, F. T. C.; BARBOSA, F. S.; Potencial fisiológicos de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 443-448, 2008.

VIEIRA, R. F.; SALGADO, L. T.; FERREIRA, A. C. B. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, 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.

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, 2011a.

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.; 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.; 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. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, p. 415-419, 2015.
- VIEIRA, R. F.; LIMA, R. C.; PRADO, A. L.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SOARES, B. A. Split application of molybdenic fertilizer at the reproductive stage of common bean molybdenum content in seed. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, p. 529-533, 2016.
- WILLIAMS, C. M. J.; MAIER, N. A.; BARTLETT, L. Effect of molybdenum foliar sprays on yield, berry size, seed formation, and petiolar nutrient composition of “Merlot” grapevines. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 11, p. 1891-1916, 2004.
- WÓJCIK, Paweł. Effects of molybdenum sprays on the growth, yield and fruit quality of ‘Red Jonaprince’ apple trees. **Scientia Horticulturae**, v. 271, e. 109422, 2020.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F. D.; SANTOS, V. B. D.; CAMPOS, F. L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2037-2041, 2008.
- XIONG, H.; SHI, A.; MOU, B.; QIN, J.; MOTES, D.; LU, W.; MA, J.; WENG, Y.; YANG, W.; WU, D. Genetic diversity and population structure of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **PloS one**, v. 11, e0160941, 2016.
- XIONG, H.; QIN, J.; SHI, A.; MOU, B.; WU, D.; SUN, J.; SHU, X.; WANG, Z.; LU, W.; MA, J.; WENG, Y.; YANG, W. Genetic differentiation and diversity upon genotype and phenotype in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Euphytica**, v. 214, p. 1-15, 2018.
- AYALEW, T.; YOSEPH, T.; PETRA, H.; CADISCH, C. Yield response of field-grown cowpea varieties to Bradyrhizobium inoculation. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3258-3268, 2021.
- ZAFEIRIOU, L.; SAKELLARIOU, M.; MYLONA, P. V. Seed Phenotyping and Genetic Diversity Assessment of Cowpea (*V. unguiculata*) Germplasm Collection. **Agronomy**, v. 13, n. 274, 2023.