

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

DANILO NUNES SODRÉ

**SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI COM ALTO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO
ORIGINAM PLANTAS MAIS PRODUTIVAS EM SOLOS COM BAIXA
FERTILIDADE NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**São Luís - MA
2018**

DANILO NUNES SODRÉ
Engenheiro Agrônomo

**SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI COM ALTO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO
ORIGINAM PLANTAS MAIS PRODUTIVAS EM SOLOS COM BAIXA
FERTILIDADE NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

**São Luís - MA
2018**

Sodré, Danilo Nunes.

Sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de molibdênio originam plantas mais produtivas em solos com baixa fertilidade natural na Amazônia Oriental / Danilo Nunes Sodré. – São Luís, 2019.

58 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1.*Vigna unguiculata*. 2.*Bradyrhizobium*. 3.Molibdênio na semente.
4.Nitrogênio – Fixação simbiótica. I.Título

CDU: 635.654-18

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

DANILO NUNES SODRÉ

**SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI COM ALTO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO
ORIGINAM PLANTAS MAIS PRODUTIVAS EM SOLOS COM BAIXA
FERTILIDADE NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Faria Vieira (Orientador)

Prof. Dr. Heder Braun (Membro)

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis (Membro)

**São Luís – MA
2018**

Dedico!

A Deus.

À minha mãe Domingas Costa Nunes, por todo o carinho e ensinamentos em toda a minha vida e pelo apoio em minha caminhada acadêmica.

Ao meu pai Francisco Cantanhede Sodré, obrigado.

Aos colegas que participaram direta e indiretamente dessa jornada, obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço à minha família, em especial minha mãe Domingas Costa Nunes, que sempre me ajudou e me apoiou nos estudos e na vida.

À minha segunda família, Seu Walton, Nonalva, Sthephane, Loudirene e Vitoria, que sempre me incentivaram nos estudos.

À Nicolly Silva Corrêa, pelo grande incentivo durante minha carreira acadêmica.

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

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

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

Ao professor Dr. Heder Braun, um grande profissional, sempre preocupado com seus orientados, obrigado por todo conhecimento adquirido durante o curso, pela paciência, atenção e confiança, que durante a minha caminhada profissional possa sempre contar com a ajuda do senhor, obrigado.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, em especial à Dra. Cristina Silva Carvalho pelo apoio durante a pesquisa e na construção da dissertação, ao professor Dr. Fabrício de Oliveira Reis, que cedeu os equipamentos para execução das avaliações no experimento, e aos demais professores.

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

Aos funcionários do programa, Neto, João, Maria, Paulino, que sempre estão dispostos a ajudar.

À Universidade Federal do Maranhão, em especial ao professor Auro Tanaka e ao laboratorista Hudson Gomes da Central Analítica, que nos ajudaram na realização das análises de parte da pesquisa, obrigado pela ajuda.

Ao pessoal do grupo de pesquisa do professor Heder: Assistone, Erivaldo, Elys, Ester, Francisneide, Gustavo, Karen, Lincon, Marcelo e Werlen, obrigado pelo apoio e momentos de descontração e desconcentração (kkkkk), agradeço pelas risadas mesmo nos dias mais difíceis.

Agradeço a Lia Gracy, que ficou durante um tempo na supervisão do laboratório de nutrição de plantas, obrigado pela ajuda.

A todos os colegas da turma do mestrado 2016, Vanessa Lira, Girlayne Veloso, Thiago Oliveira, Wendell Dias, Tainã Pereira, Lizandra Pimenta, Luis Hernández, Givago Lopes, TÁCILA Rayene, Raudielle Ferreira, Raysa Valéria e Elivaldo Carlos.

À professora Ariadne Rocha e Larissa de Paula que me ajudaram durante o estágio de docência.

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

Obrigado a todos!

Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.

Salmo 91:2

SUMÁRIO

RESUMO	12
CAPÍTULO I	13
INTRODUÇÃO	14
REVISÃO DE LITERATURA	16
1. Feijão-Caupi.....	16
2. Molibdênio no solo e na planta	16
3. Bactérias fixadoras de nitrogênio.....	18
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO II	27
SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI COM ALTO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO ORIGINAM PLANTAS MAIS PRODUTIVAS EM SOLOS COM BAIXA FERTILIDADE NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	28
RESUMO	28
INTRODUÇÃO	29
MATERIAL E MÉTODOS	31
Produção de sementes ricas em molibdênio em Coimbra-MG	31
Experimento de campo em São Luís-MA.....	32
Delineamento experimental do experimento em São Luís-MA	32
Instalação e condução dos experimentos em São Luís-MA	33
Características avaliadas.....	33
Análises estatísticas	34
RESULTADOS	34
DISCUSSÃO	39
CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	43
ANEXO	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Conteúdos de Mo da semente obtidos em três épocas de colheitas..... 35

Figura 2 - Efeitos dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) sobre o teor de nitrogênio na folha (A) e a produção de sementes (B) (n = 8) e os efeitos dos conteúdos de Mo da semente dentro do fator tratamento com rizóbio sobre conteúdo de N na planta (C) e teor de N na folha em base de área (D) (n = 4). 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Efeito das doses de Mo pulverizadas nas folhas (g ha^{-1}) sobre a produtividade de grãos da 1ª colheita (PG1), da 2ª colheita (PG2), da 3ª colheita (PG3), a produtividade de grãos total (PGT), a massa de 100 sementes (MCS) e o estande final, em Coimbra, MG.. 35

Tabela 2- Efeitos dos conteúdos de Mo da semente (CMoS, média \pm DP) e da inoculação sobre índice SPAD, teor de N na planta (TNP), área foliar da planta (AFP), altura da cobertura foliar (ACF), massa da planta seca (MSP), número de nódulos (NN) e massa dos nódulos secos (MNS) avaliadas na floração, em São Luís, Maranhão..... 36

Tabela 3- Efeito dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) e da inoculação com rizóbio sobre o estande final, massa de 100 sementes (MCS), número de vagens por planta (NVP) e número de sementes por vagem (NSV). 37

RESUMO

O feijão-caupi é um dos alimentos mais consumidos no Norte e Nordeste do Brasil, e uma das principais fontes de renda dos agricultores familiares. Nosso objetivo foi estudar os efeitos do conteúdo de Mo da semente combinado ou não com inoculante (rizóbio) na nutrição nitrogenada e na produção do feijão-caupi em solos com baixa fertilidade natural na Amazônia Oriental. Para tal, foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, em Coimbra-MG produziram-se sementes com três conteúdos de Mo. Nesse experimento, as plantas foram pulverizadas com 0, 250 e 850 g ha⁻¹ de Mo e as sementes colhidas foram avaliadas quanto ao conteúdo de Mo. Com essas sementes, foi instalado um experimento em São Luís-MA no esquema fatorial 3 x 2: três conteúdos de Mo da semente (0,014 ± 0,005; 0,674 ± 0,151 e 1,987 ± 0,278 µg Mo semente⁻¹) e uso ou não de rizóbio com estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 3262). Foi usado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Houve baixa nodulação, e a inoculação com rizóbio não influenciou a produção de sementes ($P = 0,107$), embora tenha aumentado em 17% o teor de N na folha em relação ao tratamento que não recebeu inoculante. O conteúdo de Mo da semente de 1,987 ± 0,278 µg aumentou em 36% o teor de N na folha e em 35% a produção de sementes em relação ao de 0,014 ± 0,005 µg. Nossos resultados sugerem que semente rica em Mo aumenta a produção de sementes do feijão-caupi na região da Amazônia Oriental, independentemente da inoculação. O uso de sementes ricas em Mo pode trazer benefícios ao agricultor, mesmo para os que não usam inoculante.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L). walp, *Bradyrhizobium*, molibdênio na semente, fixação simbiótica de nitrogênio.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, é um dos alimentos mais importantes na dieta dos brasileiros de baixa renda, principalmente no Norte e Nordeste (TEÓFILO et al., 2008). No Nordeste, a produção de feijão-caupi concentra-se no Piauí e na Bahia. Segundo Conab (2017), a área total semeada no Maranhão foi 36,4 mil hectares, com produção de 20,7 mil toneladas e produtividade média de 570 kg ha⁻¹.

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pelo feijão-caupi. A adubação mineral, a mineralização da matéria orgânica no solo, os fertilizantes químicos e a fixação biológica de N (FBN) são as principais fontes de N para a planta. Solos tropicais são muito intemperizados, deficientes em N e quando fertilizados com N mineral, aproximadamente 50% do N aplicado é perdido por lixiviação e volatilização (MULLER et al., 2016). Os solos maranhenses são derivados de arenitos finos (percentagens de areia fina superior a 500 g kg⁻¹, teores de silte entre 60 e 80 g kg⁻¹ e argila entre 100 e 150 g kg⁻¹) com baixa capacidade de retenção de cátions e pouca disponibilidade dos principais nutrientes vegetais (AGUIAR et al., 2010, 2013).

Dentre os micronutrientes, o molibdênio (Mo) desempenha papel indispensável no crescimento e desenvolvimento das plantas. O pH do solo e os óxidos de Al e Fe influenciam a disponibilidade de Mo para as plantas (TISDALE et al., 1993). Ao contrário dos outros micronutrientes, a disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH e diminui com o aumento dos óxidos de Fe e Al. A deficiência de Mo no solo influencia o metabolismo do N por ser componente da enzima que atua na assimilação do N por meio da enzima nitrato redutase e da nitrogenase. A enzima nitrato redutase é responsável pela redução do nitrato (N-NO₃) em nitrito (N-NO₂) no citoplasma celular e, a nitrogenase, pela redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) (KAISER et al., 2005; RUBIO e LUDDEN, 2008). Além dessas enzimas, o Mo também atua nas enzimas xantina oxidase, aldeído oxidase e sulfito oxidase, que têm influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos (MENDEL, 2011). Por isso, em solos deficientes em Mo, e especialmente nos com baixo pH, a adubação com adubo molíbdico pode trazer aumentos expressivos de produtividade (PESSOA et al., 2000; VIEIRA et al., 2005; SAPUCAY et al., 2016). Na prática, havendo deficiência de Mo, pouco N é fixado nos nódulos da raiz, o

N-NO₃ absorvido não é efetivamente usado pela planta e a planta é mais sujeita a estresses bióticos e abióticos.

O Mo pode ser fornecido às plantas por meio de sementes enriquecidas via pulverização foliar, sobretudo na fase reprodutiva das plantas, com dose relativamente alta (CAMPO e HUNGRIA, 2009, VIEIRA et al., 2010). O uso de sementes ricas em Mo pelos agricultores pode proporcionar aumento de produtividade de grãos, maior resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e reduzir a necessidade de N pela cultura. Além disso, é uma forma prática e de baixo custo de se disponibilizar Mo para as plantas. Experimentos com sementes ricas em Mo foram realizados por Vieira et al. (2005), Vieira et al. (2011), Pacheco et al. (2012), Vieira et al. (2014), Vieira et al. (2015) com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Esses autores demonstram que é possível enriquecer sementes com Mo e com baixo custo para os agricultores.

O feijão-caupi por ser leguminosa, possui o benefício da FBN por meio das bactérias do gênero *Rhizobium*, assunto já bem explorado. No entanto, não encontramos estudos na literatura que aborde o efeito de sementes de feijão-caupi ricas em Mo combinadas com o uso de bactérias do gênero *Rhizobium*. Nossa hipótese é que o uso de sementes inoculadas com rizóbio aumenta a nutrição nitrogenada da planta e a produção de sementes de feijão-caupi, sobretudo quando se usam sementes ricas em Mo, para testar essa hipótese estudamos os efeitos do conteúdo de Mo da semente combinado ou não com inoculante (rizóbio) na nutrição nitrogenada e na produção do feijão-caupi em solos com baixa fertilidade natural na região da Amazônia Oriental.

REVISÃO DE LITERATURA

1. Feijão-Caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) pertencente a ordem *Rosales*, família *Fabáceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinaea*, e gênero *Vigna*, estabelecido por Savi em 1824 (SELLSCHOP, 1962).

O gênero *Vigna* ocorre nas regiões tropicais e subtropicais espalhadas por todo o mundo (FREIRE FILHO, 1988). Faris (1965) catalogou 170 espécies desse gênero, das quais a maioria se encontra na África, como a espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. O feijão-caupi foi introduzido no Brasil por meio de colonizadores portugueses na segunda metade do século XVI, no Estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988).

O feijão-caupi é a segunda leguminosa mais cultivadas no Brasil, principalmente no Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Ademais, essa cultura é importante na geração de emprego e renda em áreas rurais e urbanas (SINGH et al., 2002; FREIRE FILHO et al., 2011).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o consumo de feijão da população brasileira é em média de 14,94 kg/habitante/ano. A estimativa de produtividade de grãos de feijão-caupi em novembro de 2018 foi de 258 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018). Logo, a produtividade do feijão-caupi é baixa, mas essa cultura tem potencial para chegar a 6000 kg ha⁻¹ (FREIRE et al., 2005). Algumas causas da baixa produtividade do feijão-caupi estão relacionadas à baixa fertilidade dos solos e à deficiência de nitrogênio (N) (HUNGRIA et al. 1991; MARTINS et al., 2003).

O N é um nutriente importante, pois limita o desenvolvimento do feijão-caupi. Há várias fontes de nitrogênio para as plantas, dentre elas: o solo, através da mineralização da matéria orgânica; a aplicação de adubos nitrogenados; e a fixação biológica de nitrogênio (FBN), através da associação com rizóbios (GUALTER et al., 2008; SILVA NETO et al., 2013).

2. Molibdênio no solo e na planta

As formações sedimentares são ambientes ricos em molibdênio, em especial os depósitos marinhos, em que as concentrações excedem 0,04%, mas o Mo pode ser

encontrado em pequenas concentrações em toda a crosta terrestre (BATAGLIA et al., 1976; GUPTA; LIPSETT, 1981).

O primeiro relato sobre a importância do Mo para as plantas foi feito por Bortels (1930). Esse autor demonstrou que a *Azotobacter vinelandii* inoculada em meio de cultura sem N precisou de Mo para crescer, o que não ocorreu se essa bactéria tivesse amônio disponível. Posteriormente, Bulen e Le Conte (1966) demonstraram que a nitrogenase purificada continha Mo. Sabe-se, hoje, que o Mo participa de enzimas importantes na planta, como a nitrogenase, a nitrato redutase, a oxidase de aldeído, a oxidase do sulfito e a oxidase/desidrogenase da xantina (RUBIO e LUDDEN, 2008; Mendel, 2011). Acredita-se que o Mo se mova na planta através do xilema, como molibdato (MoO_4^{2-}), complexo Mo-S aminoácido ou como molibdato complexado com açúcares (DECHEN et al., 2006).

A nitrogenase atua na FBN e a nitrato redutase na redução do nitrato (N-NO_3) a nitrito (N-NO_2) (KERBAUY, 2012). A função da enzima nitrogenase é reduzir o N_2 atmosférico a amônia (NH_3) durante a FBN. A nitrato redutase atua no citoplasma celular, que termina com a disponibilização de N-amoniaco para a planta. A nitrato redutase é uma enzima homodimérica com três grupos protéticos de transferência de elétrons por subunidade: flavina (FAD), heme e cofactor Mo (MoCo). A atividade do nitrato redutase é baixa em plantas deficientes em Mo, o que causa acúmulo de N-NO_3 na planta (MARSCHNER, 1995). A oxidase/desidrogenase da xantina catalisa reações que dão origem a compostos nitrogenados que são transportados através dos nódulos para a parte aérea da planta. Portanto, a deficiência de Mo pode reduzir a atividade dessa enzima. A oxidase/desidrogenase da xantina atua na senescência das folhas e na resistência da planta a fatores bióticos e abióticos. Por isso a aplicação de Mo pode regularizar a atividade das enzimas envolvidas no metabolismo do N (POLANCO et al., 2014).

Concentrações de Mo nos feijoeiros de no mínimo 10 mg kg^{-1} são suficientes para o bom desenvolvimento das plantas. Uma das formas de se obter essa concentração é a pulverização das plantas com solução de Mo. No caso da semente de feijão, $3,5 \mu\text{g}$ de Mo por semente pode suprir a planta com esse micronutriente (Vieira et al., 2010).

Resultados de pesquisas confirmam que o Mo pode aumentar a produtividade do feijoeiro (FERREIRA et al., 2003; FERNANDES et al., 2005; CALONEGO et al., 2010; ROCHA et al., 2011; VIEIRA et al., 2011). Para o caso da Zona da Mata de Minas Gerais, a dose de $70\text{-}100 \text{ g ha}^{-1}$ aplicadas aproximadamente aos 25 dias após a emergência (DAE)

é a mais adequada (BERGER et al., 1996; AMANE et al., 1999; PESSOA et al., 2001). Mesmo em alta dose, o Mo parece não ser tóxico ao feijoeiro, pois Vieira et al. (2010) usaram a dose de 4000 g ha⁻¹ e aparentemente não houve toxicidade na planta.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, a adubação molibídica foliar pode substituir a nitrogenada em cobertura em razão de o Mo aumentar a FBN e a atividade da enzima nitrato redutase (VIEIRA et al., 1992, AMANE et al., 1999, VIEIRA et al., 2005). Nessa região de Minas Gerias, pode-se alcançar produtividades de 3.000 kg ha⁻¹ sem o uso de adubo nitrogenado em cobertura (SAPUCAY et al., 2016). Nessa região, em solo com pH de até 6,1, plantas provenientes de sementes com alto conteúdo de Mo (0,722 µg de Mo e 1,272 µg de Mo semente⁻¹) produziram mais que sementes com baixo conteúdo de Mo (0,080 µg e 0,096 µg de Mo semente⁻¹) (VIEIRA et al., 2005).

3. Bactérias fixadoras de nitrogênio

Por causa da baixa fertilidade da maioria dos nossos solos, ainda é indispensável o uso de insumos químicos para fornecer nutrientes para maximizar a produtividade das culturas (DASTAGER; DEEPA; PANDEY, 2011). Porém, o uso contínuo desses insumos pode trazer problemas ambientais, como a contaminação dos lençóis freáticos, a acidificação dos solos, e a emissão de gases de efeito estufa (ZHANG; GAO; TONG; NORSE; POWLSON, 2015). Em busca de soluções para esses problemas, métodos alternativos de baixo custo e de baixo impacto ambiental podem ser utilizados pelos agricultores, como inoculação com bactérias fixadoras de N (DASTAGER; DEEPA; PANDEY, 2011), uso do Mo pulverizado nas folhas em feijão-comum (VIEIRA et al., 2011) e em feijão-caupi (LEITE et al., 2009), e uso de sementes ricas em Mo (CHAGAS et al., 2010; VIEIRA et al., 2010; PACHECO et al., 2012;).

De acordo com Epstein e Bloom (2006), o nutriente que está diretamente relacionado com o aumento da biomassa vegetal é o N. Uma FBN eficiente disponibiliza N para as plantas (SOUZA et al., 2008; XAVIER et al., 2008).

O mecanismo de absorção de N₂ pelas bactérias fixadoras de N ocorrem nos nódulos formados nas raízes. A inoculação de rizóbios em leguminosas é geralmente eficaz, mas nem todas estirpes bacterianas são eficientes devido a fatores como baixa

capacidade de competição com espécies nativas do solo e a características físicas e químicas do solo desfavoráveis (ARAÚJO e HUNGRIA, 1999).

O sucesso da FBN depende de fatores bióticos e abióticos. A FBN pode substituir a adubação nitrogenada, especialmente a de cobertura (BRITO et al., 2011). Pesquisas realizadas com inoculação de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* nas sementes de feijão-comum tem demonstrado resultados positivos no rendimento dos grãos (SOARES et al., 2006). Em feijão-caupi a inoculação tem demonstrado efeitos positivos na eficiência simbiótica e na capacidade de nodulação (ZILLI et al. 2006; GUALTER et al. 2011). Esses últimos autores verificaram que estirpes bacterianas aumentaram a nodulação, o acúmulo de N na parte aérea e acúmulo de biomassa seca da parte aérea.

Pesquisas realizadas por Martins et al. (2003) demonstraram que a inoculação aumentou a produtividade do feijão-caupi em até 35%, o que equivale a 50 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram verificados por Soares et al. (2006) em feijão comum com inoculação das estirpes UFLA 03-84 e INPA 03-11B. Essas estirpes aumentaram os rendimentos dos grãos quando comparados com o rendimento obtido no controle que recebeu 70 kg ha⁻¹ de N.

Vários trabalhos demonstram o efeito positivo da FBN proporcionado pela inoculação em feijão-caupi (XAVIER et al., 2006, XAVIER et al., 2007; XAVIER et al., 2008). Porém, a literatura é escassa no que diz respeito ao efeito combinado da inoculação e o Mo, principalmente na região da Amazônia Oriental.

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.

ALBUQUERQUE, H. C. DE; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; AMORIM, I. DE J. F.; KONDO, M. K. Capacidade nodulatória e características agrônômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, p.214-221, 2012.

AGUIAR, A.C.F.; BICUDO, S.J.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; MARTINS, A.L.S.; COELHO, K.P.; MOURA, E.G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley

cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.86, p.189-198, 2010.

AMANE, M. I. V. VIEIRA, C.; NOVAIS, R. F.; ARAUJO, G. A. A.. Adubação nitrogenada e molíbdica da cultura do feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.643-650, 1999.

ARAUJO, F. F.; HUNGRIA, M.. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum*/B. *elkanii*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, p.1633-1643, 1999.

BARROS, R. L. N.; OLIVEIRA, L. B.; MAGALHÃES, W. B.; MÉDICI, L. O.; PIMENTEL, C.. Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, p.1443-1450, 2013.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.. 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. Root nodules of *Phaseolus*: Efficient scavengers of molybdenum for N₂ fixation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42 p.679-686,1991.

BULEN, W. A.; LE CONTE, J. R.. The nitrogenase system from *Azotobacter*: two enzyme requirements for N₂ reduction, ATP-dependent H₂ evolution, and ATP hydrolysis. **National Academy of Sciences of the United States of America Proceedings, Washington**, v. 56, p.979- 986, 1966.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; VALADARES, J. M. A. S. O molibdênio em solos do Estado de São Paulo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 107-111, 1976.

BORTELS, H. Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. **Archives of Microbiology**, Berlin, v. 1, p.333-342, 1930.

CALONEGO J.C.; RAMOS JÚNIOR, E.U.; BARBOSA R.D; LEITE G.H.P.; FILHO, H.G.. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p.334-340, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2018/2019, v.6, 2018.

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, p.219-224, 2009.

DASTAGER, S.G.; DEEPA, C.K.; PANDEY, A.. Plant growth promoting potential of *Pantoea niistensis* in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Applied Soil Ecology**, v.49, p.250-255, 2011.

- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.. Micronutrientes. In: Fernandes, M.S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.328-354.
- EPSTEIN.; BLOOM, A.J. NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO.. **Nutrição mineral de plantas**. Londrina: Planta. p.251-286, 2006.
- FRANCO, M. C.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C, TSAI, S. M.. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1145-1150, 2002.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V.. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1 ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.
- FREIRE FILHO, F. R. et al. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.519, 2005.
- FURLANI, A.M.C.. Nutrição mineral. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. pAO-75, 2004.
- FERREIRA A.C.B; ARAÚJO, G.A.A; CARDOSO A.A; FONTES P.C.R; VIEIRA C.. Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 25, p.65-72, 2003.
- FERREIRA, A.C.B; ARAÚJO G.A.A; CARDOSO, A.A; FONTES, P.C.R; VIEIRA C.. Influência do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar sobre a composição mineral de folhas e sementes do feijoeiro. **Revista Ceres**. v. 49, p.443-452. 2002.
- FARIS, D.C. The origin and evolution of the cultivated forms of *Vigna sinensis*. **Can. J. Genet. Cytol.**, v.7, p.433-52, 1965.
- GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R.; XAVIER, G. R.. Eficiência agronômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 303-308, 2011.
- GUEDES, G.N.; SOUZA, A.S.; LIMA, A.S.; ALVES, L.S.. Eficiência agronômica de inoculantes em feijão-caupi no Município de Pombal – PB. **Revista Verde**, v. 5, p.82 – 89, 2010.
- GURLEY, W.H.; GIDDENS, J.. Factors affected uptake, yield response, and carry over of molybdenum in soybean seed. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p.7-9, 1969.
- GUALTER, R.M.R.; LEITE, L.F.C.; ARAUJO, A.S.F.; ALCANTARA, R.M.C.M.; COSTA, D.B.. Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: Efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scientia Agraria**, v.9, p.469-474, 2008.
- GUPTA, U. C.; LIPSETT, J.. Molybdenum in soil, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 34, p.73-115, 1981.

HUNGRIA, M.; BARRADAS, C.A.; VALLSGROVE, R.M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.839-844, 1991.

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

HARTWIG, U.A.. The regulation of symbiotic N₂ fixation: A conceptual model of N feedback from the ecosystem to the gene expression level. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.1, p.92-120, 1998.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015. *Dados Agropecuários*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em 29/11/2018.

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

KERBAUY, G. B.. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro- RJ: Guanabara Koogan, 2012, 431 p.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZETTI, S.. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v.69, p.125-133, 2010.

KAISER, B. N; GRIDLEY, K.L; BRADY, J. N; PHILLIPS, T; TYERMAN, S. D. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, Oxford. V.96, p.745-754, 2005.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; STEWART, B. A. CHAPTER FIVE.. Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. **Advances in Agronomy**, Madson-USA, v.118, p.205-397, 2013.

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

MÜLLER, T. M., SANDINI, I. E., RODRIGUES, J. D., NOVAKOWISKI, J. H., BASI, S., KAMINSKI, T. H. Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**. V.46, p.210-2015, 2016.

MARTINS, L.M.; 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, p.333-339, 2003.

MALAVOLTA E.. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, **Agronômica Ceres**. P. 638, 2006.

MALAVOLTA, E.. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, **Ceres**, 1980. 254p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A.. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, p.201, 1989.

MARTINS, L.M.; 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, p.333-339, 2003.

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

MARSCHNER, H.. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995.

MELO, F. de B.; ITALIANO. E. C.; CARDOSO, M.J. Influência da saturação de alumínio e níveis de fósforo na produção de feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 5, Teresina, 1988. Anais...Teresina: EMBRAPA/UEPAE de Teresina, p.61-65, 1988.

NASCIMENTO M.S; ARF O; BARBOSA G.F; BUZETTI S; NASCIMENTO R.S; CASTRO R.M.. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. **Scientia Agraria**, vol.10, p.351-358, 2009.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. **A cultura do caupi nas condições dos trópicos úmidos e semi-árido no Brasil**. Goiânia, EMBRAPA- CNPAF, p.18, 1987.

POLANCO, L.R; RODRIGUES, F.A.; MOREIRA, E. N.. Management of anthracnose in common bean by foliar sprays of potassium silicate, sodium molybdate, and fungicide. **Plant Disease**, St. Paul, v.98, p.84-89, 2014.

PACHECO, R.S.; BRITO, L.F.; STALIOTTO, R.; PÉREZ, D.V.; ARAÚJO, A.P. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. **Field Crops Research**, v.136, p.97-106, 2012.

PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A.. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "ouro negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 25, p. 217-224, 2001.

PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M.; CASSINI, S.T.A.. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à

adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 75-84, 2000.

PAIS, L.; JONES JUNIOR, J.B.. The handbook of trace elements. Boca Raton, St. Lucie Press, P. 223, 1996.

RUFINI, M.; SILVA, M. A. P.; FERREIRA, P. A. A.; CASSETARI, A. S.; SOARES, B. L.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S.. Symbiotic efficiency and identification of rhizobia that nodulate cowpea in a Rhodic Eutrudox. **Biology and Fertility of Soils**, v.50, p.115-122, 2014.

ROCHA, P. R. R.; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; CECON, P. R.; LIMA, T. C.. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, v.24, p.9-17, 2011.

ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. **Annual Review of Environment and Resources**. v.34, p.97-125, 2009.

RUMJANEK, N.G. et al. Fixação biológica do nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R. et al. (Eds). **Feijão-Caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, p.281-335, 2005.

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

SILVA NETO, M. L.; SMIDERLE, O. J.; SILVA, K.; FERNANDES JUNIOR, P. I.; XAVIER, G. R.; ZILLI, J. E.. Compatibilidade do tratamento de sementes de feijão-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de Bradyrhizobium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.80-87, 2013.

SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; MACIEL, C.D.; CAMPO, R. C.; ZAIA, D. A. M.. conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.43, p.83-91, 2008.

SOARES, A.L.L.; FERREIRA, P.A.A.; PEREIRA, J.A.R.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S.. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II - feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.803-811, 2006.

SORATTO, R. P.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; SILVA, T. R. B.. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.25, p.89-96, 2003.

SINGH, B.B.; EHLERS, J.D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F.R.. Recent progress in cowpea breeding. In Fatokun, C.A; Tarawali, S.A.; Singh, B.B.; Kormawa, P.M.; Tamò,

M. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, p.22-40, 2002.

SALYSBURY, F.B.; ROSS, C.W.. **Plant physiology**. 4.ed. California: Wadsworth Publishing Company,. p.682, 1992.

SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. **Biotecnologia do Solo: fundamentos e perspectivas**. Lavras, ME/ESAL/FAEPE/ABEAS. p.235, 1988.

SELLSCHOP, J. P. F. Cowpeas: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Field Crop Abstracts**, Slough, v.15, p.259-266, 1962.

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

TIBURTINO, U., DE, G., VIEIRA, G., FARIA, R., DE, J. Y ASSIS, A.. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v.29, p.113-120, 2007.

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

Vieira, R. F.; Ferreira, A. C. B; Prado, A. L. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: Conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, p.163-169, 2011.

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.; SALGADO, L. T.; FERREIRA, A. C. DE B.. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.28, p.363-377, 2005.

VIEIRA, R.F, CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C, VIEIRA.; CASSINI, S.T.A.. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. **Journal of Plant Nutrition.**, Madson, v.21, p.169-180, 1998.

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

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L.. Influência da inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.38, p.2037-2041, 2008.

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.572-575, 2007.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; RUMJANEK, N. G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga**, Mossoró, v.19, p.25-33, 2006.

XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; CAMPOS, F.L.. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.37, p.56-564, 2007.

WINTER, H.C.; BURRIS, R.H. Nitrogenase. **Annual Review of Biochemistry**, v.45, p.409-426, 1976.

ZILLI, J.E.; XAVIER, G.R.; MOREIRA, F.M.S.; FREITAS, A.C.R; OLIVEIRA, L.A.. Fixação biológica de nitrogênio. In: ZILLI, J.E.; VILARINHO, A.A. & ALVES, J.M.A., eds. **A cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira**. Boa Vista, Embrapa Roraima, p.185-221, 2009.

ZILLI, J. E.; VALICHESKI, R. R.; RUMJANEK, N. G.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L.; FREIRE FILHO, F. R.; NEVES, M. C. P.. Eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de solo do Cerrado em caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.811-818, 2006.

ZHANG, S., GAO, P., TONG, Y., NORSE, D., POWLSON, D.. Overcoming nitrogen fertilizer over-use through technical and advisory approaches: A case study from Shaanxi province, northwest China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.209, p.89-99, 2015.

CAPÍTULO II

Manuscrito de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI COM ALTO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO ORIGINAM PLANTAS MAIS PRODUTIVAS EM SOLOS COM BAIXA FERTILIDADE NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL.

RESUMO: O feijão-caupi é um dos alimentos mais consumidos no Norte e Nordeste do Brasil e uma das principais fontes de renda dos agricultores familiares. Objetivou-se estudar os efeitos do conteúdo de Mo da semente combinado ou não com inoculante (rizóbio) na nutrição nitrogenada e na produção do feijão-caupi em solos com baixa fertilidade natural na Amazônia Oriental. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, em Coimbra-MG produziram-se sementes com três conteúdos de Mo. Nesse experimento, as plantas foram pulverizadas com 0, 250 e 850 g ha⁻¹ de Mo e as sementes da cv. Guariba foram avaliadas quanto ao conteúdo de Mo. Com essas sementes colhidas no primeiro experimento foi instalado um experimento em São Luís-MA no esquema fatorial 3 x 2: três conteúdos de Mo da semente (0,014 ± 0,005; 0,674 ± 0,151 e 1,987 ± 0,278 µg Mo semente⁻¹) e uso ou não de rizóbio com estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 3262). A média do teor de nitrogênio na folha (TNF) e da produção no conteúdo de Mo da semente de 1,987 ± 0,278 foram, respectivamente, 36,1% e 35% maiores que a média do teor de nitrogênio na folha e da produção no conteúdo de Mo de 0,014 ± 0,005. O uso da inoculação com rizóbio aumentou 17% o teor de N na folha em relação ao tratamento que não recebeu inoculante. A inoculação não aumentou a produção de sementes. Semente de feijão-caupi com alto conteúdo de Mo aumentou a nutrição nitrogenada e a produção de sementes da cultura plantada em solos com baixa fertilidade natural. A inoculação aumentou a nutrição nitrogenada, porém não aumentou a produção de sementes da cultura. Nossos resultados sugerem que sementes ricas em Mo aumenta a produção de sementes do feijão-caupi na região da Amazônia Oriental, independentemente da inoculação. O uso de sementes ricas em Mo pode trazer benefícios ao agricultor, mesmo para os que não usam inoculante.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, teor de molibdênio na semente, *Bradyrhizobium*.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem grande importância tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda para os agricultores. Nas regiões tropicais, o feijão-caupi é uma das culturas mais rústicas (Matsui e Singh, 2003) e é fonte de proteína, minerais e fibras. Por isso, é alimento básico de populações rurais e urbanas do Norte e Nordeste do Brasil.

O feijão-caupi absorve quantidade superior a 100 kg ha⁻¹ de N (Freire filho et al., 2005). A adubação mineral é uma das formas de entrada de N no solo. No entanto, o N mineral usado nos solos tropicais pode ser pouco eficiente, pois parte dele quando aplicado pode ser perdido por lixiviação e volatilização (Soratto et al., 2003). Por causa dessas perdas e da pouca disponibilidade dos principais nutrientes vegetais nos solos do trópico úmido, os agricultores têm obtido rendimentos em torno de 500 kg ha⁻¹ de grãos de feijão-caupi. Por causa da importância do feijão-caupi para essas regiões brasileiras e da baixa produtividade da cultura, alternativas de baixo custo e de baixo impacto ambiental são necessárias para aumentar a renda e a qualidade de vida dos agricultores. Logo, o fornecimento de sementes ricas em molibdênio (Mo) para o agricultor pode ser uma técnica viável e de baixo custo, porém ainda não estudada no Maranhão.

O Mo participa de enzimas envolvidas no metabolismo do N na planta através da enzima nitrogenase, que é responsável pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), e da enzima nitrato redutase, que participa da redução do nitrato (N-NO₃) a nitrito (N-NO₂) (Fageria et al., 2011; Marschner, 2012).

Na literatura, trabalhos demonstraram os efeitos positivos da aplicação de Mo sobre o crescimento, nodulação, fixação biológica de N e produtividade na soja (Albino e Campo, 2001; Gris et al., 2005; Campo et al., 2009), no amendoim (Caíres e Rosolem, 2000; Quaggio et al., 2004), no feijão-comum (Vieira et al., 2005; Vieira et al., 2011; Leite et al., 2007; Kusdra, 2003; Lopes et al., 2016; Sapucay et al. 2016) e no feijão-caupi (Leite et al., 2009).

A produtividade de grãos do feijoeiro aumenta quando o Mo é pulverizado nas folhas (Vieira et al., 2015 e Sapucay et al., 2016). Este último estudo relata que é possível alcançar produtividades de grãos no feijoeiro em até 3000 kg ha⁻¹ com adubação molíbdica foliar e sem adubação nitrogenada em cobertura. Técnica de enriquecimento da semente com Mo e aumento da produtividade do feijoeiro foram relatados por Vieira et al.

(2005), Vieira et al. (2011), Pacheco et al. (2012) e Vieira et al. (2015). Vieira et al. (2011) relataram que é possível fornecer ao agricultor sementes ricas em Mo com baixo custo de produção, o que pode ser útil para os agricultores Maranhenses. Vieira et al. (2015) relataram que a disponibilização de Mo para a planta via semente independe de a tecnologia ser conhecida, ou não, pelo agricultor, e de o adubo molíbdico estar disponível, ou não, no comércio local. Esses autores relataram também que para produzir sementes ricas em Mo, as plantas são pulverizadas, geralmente mais de uma vez, com doses de Mo ($\sim 600 \text{ g ha}^{-1}$) mais altas que as usadas em pulverização nos feijoeiros ($50 \text{ a } 100 \text{ g ha}^{-1}$) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo (Vieira et al., 2014). É importante frisar que o Mo contido na semente só supre a planta-filha, ou seja, as sementes colhidas da planta-filha voltam a ser pobres em Mo se o solo for deficiente nesse micronutriente (Vieira et al., 2005).

A prática de enriquecimento da semente com Mo tem estas vantagens: aumenta a eficiência de uso do micronutriente pela planta, pode ser utilizado por todos os agricultores, independentemente de seu nível escolar (Vieira et al., 2015). No entanto, os resultados obtidos por esses autores foram com feijão-comum, sobretudo na Zona da Mata de Minas Gerais. O único estudo que avaliou o efeito da aplicação foliar de Mo em feijão-caupi sobre a inoculação foi realizado em Teresina-PI (Leite et al., 2009). Logo, não há trabalhos na literatura sobre o enriquecimento de sementes de feijão-caupi com Mo na região da Amazônia Oriental.

Para elevar a produtividade da cultura, baixar os custos de produção e aumentar a renda do produtor rural vislumbra-se a possibilidade de exploração do uso de bactérias fixadoras de N através da adoção da prática de inoculação nas sementes com estirpes de bactéria do grupo rizóbio (Zilli et al., 2009). Os agricultores Maranhenses não inoculam as sementes com rizóbio, embora esta prática tenha aumentado o suprimento de N nas plantas (Saharan e Nehra, 2011). Com base em nossa revisão, não encontramos pesquisas que tenha estudado a interação entre níveis do conteúdo de Mo nas sementes de feijão-caupi e uso ou não da inoculação com rizóbio na aquisição de N e produtividade dessa leguminosa. Portanto, nossa hipótese é que o uso de sementes inoculadas com rizóbio aumenta a nutrição nitrogenada e a produção de sementes no feijão-caupi, sobretudo quando se usam sementes ricas em Mo. Para testar esta hipótese, usamos sementes com três conteúdos de

Mo combinados ou não com inoculantes (rizóbio) na nutrição nitrogenada e na produção no feijão-caupi em solos com baixa fertilidade da região da Amazônia Oriental.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção de sementes ricas em molibdênio em Coimbra-MG

Para obter as sementes de feijão-caupi com três conteúdos de Mo (CMoS), foi conduzido um experimento de campo, em Coimbra (20° 49' S, 42° 45' W, altitude de 716 m), município da Zona da Mata de Minas Gerais, em Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013). Esse experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram a aplicação de Mo na folhagem nas doses: 0; 250 e 850 g ha⁻¹. As doses de 250 e 850 g ha⁻¹ de Mo, na forma de molibdato de sódio (Na₂MoO₄.2H₂O), foram parceladas nestas fases de desenvolvimento do caupi: 30 dias após a emergência (DAE) - botão floral; 41 DAE - flores e vagens até 10 cm e 54 DAE - 10% das vagens formadas e com sementes. Na dose de 250 g ha⁻¹ de Mo, 50 g ha⁻¹ foi aplicado aos 30 DAE e 200 g ha⁻¹ foi aplicado aos 41 DAE. Na dose de 850 g ha⁻¹ de Mo, 50 g ha⁻¹ foi aplicado aos 30 DAE; 400 g ha⁻¹ aos 41 DAE e 400 g ha⁻¹ aos 54 DAE. As parcelas constaram de cinco fileiras de 4 m de comprimento, espaçadas de 0,6 m. Foram distribuídas 12 sementes por metro de sulco. A parcela útil constou das três fileiras centrais. As plantas foram irrigadas por aspersão convencional para complementar as chuvas. Na adubação no sulco de plantio, distribuíram-se 350 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (N - P₂O₅ - K₂O). Também foi feita adubação em cobertura com 150 kg ha⁻¹ de ureia. As plantas daninhas foram controladas com capinas e, quando necessário, as pragas foram controladas com o uso de inseticida. Foram semeadas as sementes de duas cultivares de feijão-caupi: Guariba e Poços de Caldas.

As vagens foram colhidas, à medida que amadureciam, em três datas em uma área de 7,2 m² das quatro fileiras centrais de cada parcela. Em seguida, as vagens foram debulhadas e as sementes foram pesadas para determinar a produção de sementes. Ademais, avaliaram-se estande final e massa de 100 sementes. A produtividade e a massa de 100 sementes foram obtidas com sementes com 130 g kg⁻¹ de água. Após digestão nitroperclórica, o teor de Mo da semente, nas três colheitas, foi determinado por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES, modelo 9820, Shimadzu, Kyoto, Japão), conforme metodologia descrita em Vieira et al. (2014). Os conteúdos de Mo da semente

foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente pela massa média de uma semente seca (descontando-se os 13% de água na semente). As sementes colhidas foram armazenadas em câmara fria para manter-lhes a qualidade até o uso no Maranhão.

Experimento de campo em São Luís–MA

Foram usadas as sementes colhidas no experimento de Viçosa. As sementes com três conteúdos de Mo colhidas na primeira colheita em Coimbra–MG foram usadas para realizar o experimento de campo em São Luís-MA. Esse experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís (2° 30' S, 44° 18' W, altitude de 24 m) entre maio e agosto de 2017. O clima da região é predominantemente do tipo AW', equatorial quente úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a julho, e outra seca, com acentuado déficit hídrico, que se estende de julho a dezembro. As precipitações variam de 1700 mm a 2300 mm e concentram-se (80%) entre janeiro e maio. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). As características físico-químicas desse solo na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento, foram: pH CaCl₂ = 4,7; matéria orgânica = 20 g dm⁻³; P = 7 mg dm⁻³; K = 62,4 mg dm⁻³; Ca = 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,14 cmol_c dm⁻³; H + Al³⁺ = 0,27 cmol_c dm⁻³; soma de base = 2,26 cmol_c dm⁻³; CTC = 5 cmol_c dm⁻³; V = 46%; areia grossa = 240 g kg⁻¹; areia fina = 610 g kg⁻¹; silte = 7 g kg⁻¹; 80 g kg⁻¹ e relação silte/argila = 0,88.

Delineamento experimental do experimento em São Luís-MA

Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 3 x 2: conteúdos de Mo da semente (0,014 ± 0,005; 0,674 ± 0,151 e 1,987 ± 0,278 µg Mo semente⁻¹), com e sem inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. A inoculação foi feita com solução açucarada a 1% para aderir o inoculante na semente, na dose de 500 g de inoculante para 50 kg de sementes. As sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 3262). O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,60 m. Foram distribuídas 12 sementes por metro de sulco. Na colheita, foram eliminadas 0,5 m de cada extremidade da parcela mantendo-se uma área útil de 4,8 m².

Instalação e condução dos experimentos em São Luís-MA

Trinta dias antes do plantio, a vegetação nativa foi cortada com uma roçadeira manual. Após a roçagem, toda a palhada da área experimental foi deixada sobre a superfície e o solo não recebeu nenhum preparo para a semeadura, conforme fazem os agricultores da região. Foi utilizada a cultivar de feijão-caupi BRS Guariba. Essa cultivar possui hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, ciclo de vida entre 65 e 70 dias (Gonçalves et al., 2009). Não foi feita adubação química e o controle de plantas daninhas foi realizado com capinas manuais, quando necessário. Fez-se o manejo da cercosporiose (*Pseudocercospora cruenta*) com o fungicida tiofanato-metílico (490 g ha^{-1}), aplicado aos 20 DAE e aos 36 DAE.

Características avaliadas

Na fase R2 (floração) foram feitas as leituras com clorofilômetro (Minolta SPAD 502) e avaliado o teor de N nas folhas (TNF). Foram realizadas 30 leituras com o clorofilômetro em 10 folhas jovens plenamente expandidas de 10 plantas tomadas ao acaso de cada parcela. As leituras foram realizadas entre a borda e a nervura central da folha. A média das leituras realizadas nas 10 folhas representou a média da parcela. As 10 folhas jovens plenamente expandidas nas quais foram realizadas as leituras com o clorofilômetro foram coletadas, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C , até atingirem massa constante. Após digestão sulfurica, o TNF foi determinado pelo método de Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). Também foi determinado o teor de N foliar em base de área (TNF_A) pelo quociente entre o TNF e a área foliar específica (AFE). Para quantificar a AFE, foram coletados 10 discos foliares de área conhecida de 10 folhas, e depois, foram colocados em estufa a 70°C até atingirem massa constante. A AFE foi obtida pela relação entre a área dos discos foliares e a massa dos discos secos.

Na floração, foi avaliado o número e massa de nódulos em uma das fileiras úteis da parcela, foi usada para a coleta de 10 plantas com o auxílio de enxadão. As raízes foram separadas da parte aérea, e os nódulos destacados foram contados e em seguida, secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C , até atingirem massa constante, para determinação da massa de nódulos secos. Em uma das fileiras úteis da parcela foi usada para quantificar a altura da cobertura foliar (ACF) em cinco plantas, medindo-as entre a

superfície do solo e a folha mais alta do dossel da planta. Essas plantas foram coletadas com auxílio de enxadão para quantificar a área foliar da planta (AFP) no integrador de área foliar (modelo WinDias – Delta T Image Analysis System Delta – T – Devices LTD). Em seguida, essas plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante, para determinar a massa da planta seca (MPS). A planta seca foi triturada e submetida a digestão sulfúrica para quantificar o teor de N na planta, conforme descrição de Tedesco et al. (1995). O conteúdo de N na planta (CNP) foi obtido pela multiplicação do teor de N na planta pela massa da planta seca.

Na colheita, utilizou-se uma área de 1,2 m² na área útil para determinar a produção de sementes. Foram coletadas cinco plantas para a tomada de dados destes componentes da produção: massa de 100 sementes, número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV). A produção e a massa de 100 sementes foram avaliadas quando as sementes estavam com 130 g kg⁻¹ de água.

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi usado $P \leq 0,25$ (Perecin e Cargnelutti, 2008) para desdobrar a interação entre os conteúdos de Mo na semente e inoculação. Foi usado $P \leq 0,05$ para testar os contrastes isolados. O teste F foi usado para comparar médias dos tratamentos com e sem inoculante e o teste de Duncan foi usado para comparar as médias dos conteúdos de Mo da semente. Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software livre R (R Core Team, 2016).

RESULTADOS

Experimento de campo em Coimbra-MG

As doses de Mo pulverizadas nas folhas não influenciaram significativamente a produtividade de grão da 1^o colheita ($P = 0,520$), da 2^o colheita ($P = 0,473$), da 3^o colheita ($P = 0,119$), a produtividade de sementes total ($P = 0,220$), a massa de 100 sementes ($P = 0,073$) e o estande final ($P = 0,814$) (Tabela 1).

Tabela 1- Efeito das doses de Mo pulverizadas nas folhas (g ha^{-1}) sobre a produtividade de grãos da 1ª colheita (PG1), da 2ª colheita (PG2), da 3ª colheita (PG3), a produtividade de grãos total (PGT), a massa de 100 sementes (MCS) e o estande final, em Coimbra, MG.

Doses de Mo (g ha^{-1})	PS1 (kg ha^{-1})	PS2 (kg ha^{-1})	PS3 (kg ha^{-1})	PST (kg ha^{-1})	MCS (g)	Estande (plantas m^{-2})
0	740,0	534,0	57,0	1848,0	18,50	7,1
250	806,0	669,0	80,0	2160,0	19,87	7,2
850	749,0	712,0	117,0	2192,0	20,45	7,8
CV %	11,0	31,5	41,2	13,1	5,0	25,8

Nas duas doses de Mo pulverizadas nas folhas, houve redução no conteúdo de Mo nas sementes da 1ª colheita para a 3ª colheita (Figura 1). As doses de Mo influenciaram significativamente ($P < 0,001$) o conteúdo de Mo na semente. A média do conteúdo de Mo da semente colhida na 1ª colheita, obtida com a pulverização de 250 g ha^{-1} e 850 g ha^{-1} de Mo, foi respectivamente 32% e 25%, este sendo maior que a média do conteúdo de Mo da semente colhida na 3ª colheita (Figura 1). Quando o Mo não pulverizado nas folhas das plantas de feijão-caupi, os conteúdos de Mo da semente na 1ª, 2ª e 3ª colheita foram, respectivamente, $0,014 \pm 0,005$; $0,023 \pm 0,013$ e $0,016 \pm 0,007 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$.

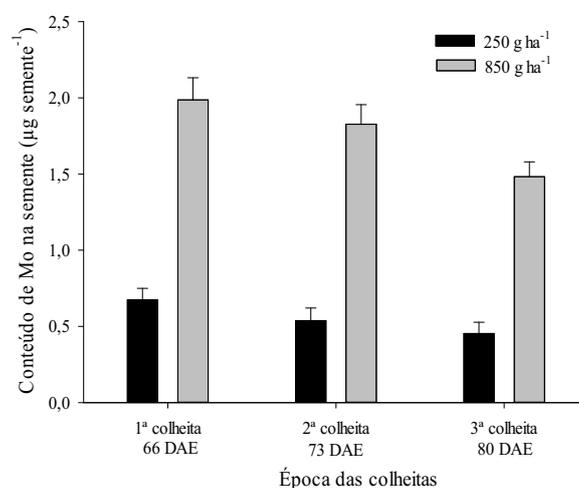


Figura 1- Conteúdos de Mo da semente obtidos em três épocas de colheitas. A barra vertical denota o desvio padrão da média.

Experimento de campo em São Luís-MA

A interação entre conteúdo de Mo da semente e inoculação não foi significativa em relação ao índice SPAD ($P = 0,558$), ao teor de N na planta ($P = 0,678$), à área foliar da planta ($P = 0,816$), à altura da cobertura foliar ($P = 0,847$), à massa da planta seca ($P = 0,468$), ao número de nódulos ($P = 0,638$) e à massa dos nódulos secos ($P = 0,329$) (Tabela 2). Os

conteúdos de Mo da semente influenciaram o índice SPAD ($P = 0,010$), o teor de N na planta ($P < 0,001$), a área foliar da planta ($P < 0,001$), a altura da cobertura foliar ($P < 0,001$) e a massa da planta seca ($P = 0,0015$). Quanto à inoculação, os efeitos foram significativos em relação ao índice SPAD ($P = 0,028$), ao teor de N na planta ($P = 0,019$), à área foliar da planta ($P = 0,030$), à altura da cobertura foliar ($P = 0,046$) e à massa da planta seca ($P = 0,004$) (Tabela 2). Os conteúdos de Mo da semente não influenciaram o número de nódulos ($P = 0,089$) e a massa dos nódulos secos ($P = 0,757$). A inoculação com rizóbio não influenciou o número de nódulos ($P = 0,657$) e a massa de nódulos secos ($P = 0,601$).

Tabela 2- Efeitos dos conteúdos de Mo da semente (CMoS, média \pm DP) e da inoculação sobre índice SPAD, teor de N na planta (TNP), área foliar da planta (AFP), altura da cobertura foliar (ACF), massa da planta seca (MPS), número de nódulos (NN) e massa dos nódulos secos (MNS) avaliadas na floração, em São Luís, Maranhão.

Fatores	Índice SPAD	TNP (g kg ⁻¹)	AFP (cm ² /planta)	ACF (cm)	MPS (kg ha ⁻¹)	NN (nº/planta)	MNS (mg/planta)
CMoS							
($\mu\text{g semente}^{-1}$)							
0,014 \pm 0,005	40,6 b	14,8 c	4040 b	41,4 b	2050 b	3,05	102
0,674 \pm 0,151	46,6 a	20,1 b	4893 a	49,7 a	2417 a	3,7	95
1,987 \pm 0,278	59,8 a	24,9 a	5233 a	55,1 a	2700 a	4,6	111
Inoculação							
Sim	48,3*	21,2**	4966*	51,2*	2592**	3,7 ^{ns}	107 ^{ns}
Não	43,1	18,7	4478	46,3	2187	3,9	98
CV %	11,5	11,7	10,6	11,4	12,0	35,7	40,7

As médias referentes aos conteúdos de Mo da semente (n=8) foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5%, pelo teste F (n=12).

A interação entre conteúdo de Mo da semente e inoculação não foi significativa em relação ao estande final ($P = 0,529$), à massa de 100 sementes ($P = 0,479$), ao número de vagens por planta ($P = 0,998$) e ao número de sementes por vagem ($P = 0,885$). No entanto, os conteúdos de Mo da semente influenciaram marginalmente a massa de 100 sementes ($P = 0,105$), o número de vagens por planta ($P = 0,054$) e o número de sementes por vagem ($P = 0,092$) e significativamente o estande final ($P = 0,016$). Os efeitos da inoculação não foram significativos em relação ao estande final ($P = 0,879$), à massa de 100 sementes ($P = 0,210$), ao número de vagens por planta ($P = 0,555$) e ao número de sementes por vagem

($P = 0,615$). Em relação às plantas pobres em Mo, as plantas originadas das sementes mais ricas em Mo apresentaram maior número de vagens por planta, maior número de sementes por vagem e maior massa de sementes, mas a população de plantas desse tratamento foi menor em relação ao verificado nas plantas originadas de sementes com $0,674 \pm 0,151$ e $0,014 \pm 0,005$ (Tabela 3).

Tabela 3- Efeito dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) e da inoculação com rizóbio sobre o estande final, massa de 100 sementes (MCS), número de vagens por planta (NVP) e número de sementes por vagem (NSV).

Fatores	Estande (plantas m ⁻²)	MCS (g)	NVP	NSV
Conteúdo de Mo ($\mu\text{g semente}^{-1}$)				
0,014 \pm 0,005	7,7 a	17,1 b	14,4 b	6,7 b
0,674 \pm 0,151	7,3 a	17,8 ab	16,8 ab	7,5 ab
1,987 \pm 0,278	6,3 b	18,7 a	18,2 a	8,6 a
Inoculação				
Sim	7,1 ^{ns}	18,2 ^{ns}	16,8 ^{ns}	7,8 ^{ns}
Não	7,1	17,5	16,1	7,4
CV, %	12,84	8,1	17,3	21,3

As médias referentes aos conteúdos de Mo da semente ($n=8$) foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}; não significativo ($n=12$).

A interação entre conteúdo de Mo da semente e inoculação não foi significativa sobre o teor de N na folha ($P = 0,331$). No entanto, os conteúdos de Mo da semente ($P = 0,002$) influenciaram o teor de N na folha (Figura 2A). A média do teor de N na folha no conteúdo de Mo na semente de $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 36% maior que a média do teor de N na folha das plantas originadas de semente com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g}$. A inoculação influenciou o teor de N na folha ($P = 0,019$). A inoculação com rizóbio aumentou em 17% o teor de N na folha em relação ao tratamento que não recebeu inoculante. A interação entre conteúdo de Mo da semente e inoculação não influenciou a produção de sementes ($P = 0,579$). Os conteúdos de Mo da semente influenciaram a produção de sementes ($P = 0,042$), mas a inoculação não influenciou a produção de sementes ($P = 0,107$). A média da produção de sementes das plantas provenientes de semente com conteúdo de Mo de $1,987 \pm 0,278$ foi 42% maior que a das plantas originadas de semente com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005$ (Figura 2B).

A interação entre conteúdo de Mo da semente e inoculação influenciou o conteúdo de N na planta ($P = 0,238$). Portanto, foi feito o desdobramento dessa interação. Nas sementes não inoculadas, a média do conteúdo de N das plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 2,14 vezes maior que a média do conteúdo de N das plantas originadas de semente com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g de Mo}$ (Figura 2C). Em sementes inoculadas, a média do conteúdo de N das plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 2,24 vezes maior que a média do conteúdo de N das plantas originadas de sementes com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$ (Figura 2C). A inoculação influenciou o conteúdo de N na planta ($P < 0,001$). A inoculação com rizóbio aumentou em 27% o conteúdo de N na planta em relação ao tratamento que não recebeu inoculante.

A interação entre o conteúdo de Mo da semente e inoculação influenciou o teor de N na folha em base de área ($P = 0,231$). Em sementes não inoculadas, a média do teor de N em base de área das plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 1,36 vezes maior que a média do teor de N em base de área das plantas originadas de semente com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$ (Figura 2D). Nas sementes inoculadas, a média do teor de N em base de área das plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 1,66 vezes mais alto que a média do teor de N em base de área das plantas originadas de sementes com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$ (Figura 2D). A inoculação influenciou o teor de N na folha em base de área ($P < 0,01$). A inoculação com rizóbio aumentou em 19% o teor de N na folha em base de área em relação ao tratamento que não recebeu inoculante.

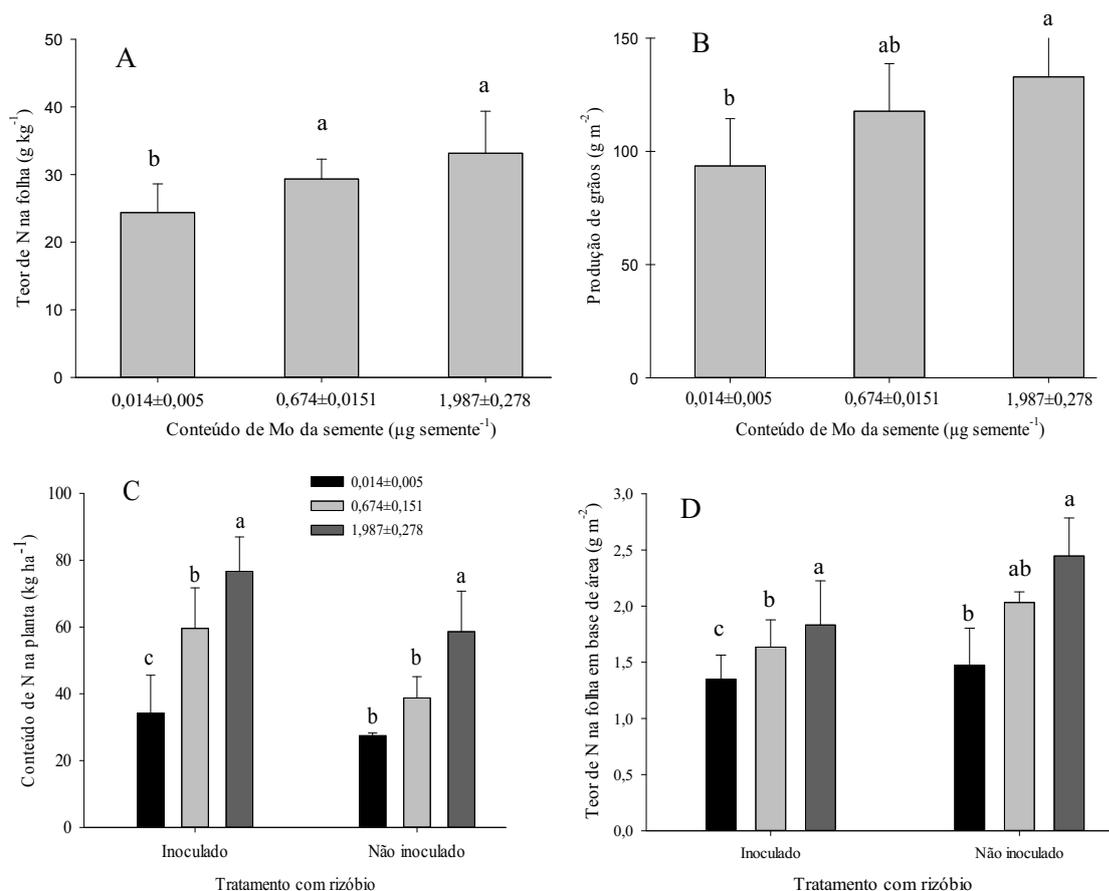


Figura 2 - Efeitos dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) sobre o teor de nitrogênio na folha (A) e a produção de sementes (B) ($n = 8$) e os efeitos dos conteúdos de Mo da semente dentro do fator tratamento com rizóbio sobre conteúdo de N na planta (C) e teor de N na folha em base de área (D) ($n = 4$). As médias dentro de cada nível de inoculação foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. A barra vertical denota o desvio padrão.

DISCUSSÃO

A nossa hipótese foi de que o uso de sementes inoculadas com rizóbio aumenta a nutrição nitrogenada e a produção de sementes do feijão-caupi, sobretudo quando se usam sementes ricas em Mo. Essa hipótese foi suportada em relação ao conteúdo de Mo da semente, pelo fato de ter ocorrido aumento na produção de sementes. No entanto não tivemos todos os benefícios esperados com o uso da inoculação. Pesquisas com sementes enriquecidas com Mo para aumentar o rendimento de sementes em feijoeiro já foram demonstradas por Brodrick et al. (1995) e Vieira et al. (2005, 2011). Contudo, esta foi a primeira pesquisa que avaliou o uso de sementes enriquecidas com Mo sobre o desempenho do feijão-caupi,

sobretudo com sementes inoculadas em solos de baixa fertilidade natural da região da Amazônia Oriental.

As doses de Mo pulverizadas nas folhas não influenciaram a produtividade de sementes em Coimbra, Minas Gerais (Tabela 1). Não houve aumento de produtividade de sementes em relação ao Mo pulverizado nas folhas em razão de todas as parcelas receberem adubação nitrogenada em cobertura. Resultados de pesquisa indicam que o uso de N aplicado em cobertura reduz o efeito do Mo pulverizado nas folhas do feijão-comum na Zona da Mata de Minas Gerais, provavelmente devido ao possível acúmulo de N-NO₃ na planta, resultado da baixa atividade da enzima nitrato redutase, por falta de Mo (Pessoa et al., 2000).

Com o enriquecimento das sementes de feijão-caupi houve incremento na produção de sementes de 42%, independentemente da inoculação ou não (Figura 2B). Esse resultado sugere que é vantajosa para o agricultor a técnica de enriquecimento das sementes de feijão-caupi com Mo. Resultados positivos do enriquecimento das sementes do feijoeiro no rendimento de grãos foram relatados por Vieira et al. (2005, 2010), mas não encontramos na literatura trabalho semelhante com feijão-caupi. O aumento na produção de sementes com o uso de sementes ricas em Mo parece ser devido à melhoria da eficiência da nutrição nitrogenada da cultura, conforme indicam nossos resultados (Figuras 2A e 2B). De acordo com Pessoa et al. (2001), o uso do Mo pode aumentar em 16 vezes a atividade da enzima nitrato redutase, o que significa maior aproveitamento do N-NO₃ adquirido.

Plantas que não são adubadas com Mo dependem da disponibilidade do N no solo e fatores como pH podem influenciar essa disponibilidade. Segundo Tisdale et al. (1993), o pH e a quantidade de óxidos de Al e Fe são os fatores que mais influenciam a disponibilidade de Mo no solo para as plantas, ou seja, a disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH e diminui com a presença de altas concentrações de óxidos de Al e Fe. Segundo Sobral et al. (2015), valores de pH entre 4 e 5 indicam presença de alumínio trocável ou acidez trocável (Al³⁺), o que é característica de solo ácido e significa que a acidez pode inibir o crescimento das raízes, influenciar na menor disponibilidade de alguns nutrientes e prejudicar a mineralização da matéria orgânica.

Em nossa região não é difundida a prática da adubação molíbdica e/ou uso de sementes ricas em Mo, acreditamos que essa tecnologia de produção de sementes ricas em Mo pode favorecer o agricultor familiar da região da Amazônia Oriental que não dispõe de recursos

financeiros para comprar adubos nitrogenados. O N mineral é caro, além de causar poluição ambiental (aumentar o N-NO₃ no lençol freático) quando usado continuamente, e a quantidade aplicada de forma insuficiente pode limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Informação nova obtida na presente pesquisa foi que as sementes de feijão-caupi da 1^a colheita apresentaram maior conteúdo de Mo da semente que as obtidas nas outras duas colheitas. Esse resultado é importante no planejamento da colheita quando se visa colher sementes ricas em Mo.

Neste estudo, a inoculação com rizóbios não influenciou a produção de sementes, apesar de o processo da FBN ser uma das formas de aumentar a produtividade de muitas leguminosas (Franco et al., 2002). Contudo, o uso de inoculante pode não ser suficiente para garantir altas produtividades em feijão (Henson e Bliss, 1991; Graham et al., 2003; Hungria et al., 2003). As leguminosas dependem da FBN para adquirir N, porém o Mo é necessário nesse processo, pelo fato da redução do N₂ atmosférico através da enzima nitrogenase (Parker e Harris, 1977; Israel, 1987). Em Parnaíba-PI a maior produtividade do feijão-caupi foi 1474 kg ha⁻¹ com a prática da inoculação e 1445 kg ha⁻¹ sem o uso da inoculação (Xavier et al., 2008).

Na presente pesquisa não utilizamos adubação nitrogenada, o que nos leva a acreditar que sementes ricas em Mo através das enzimas nitrogenase e a nitrato redutase suprem de forma adequada a planta para o nível de produção alcançada. No entanto, nem sempre há respostas positivas do feijão-caupi à inoculação, como ocorreu no trabalho realizado em Gurupi-TO por Borges et al. (2012); Chagas Junior et al. (2010) e Costa et al. (2011) relataram que a produtividade de feijão-caupi não apresentou diferença significativa entre o tratamento com inoculação e o controle.

Os conteúdos de Mo nas sementes tiveram efeitos positivos sobre as leituras do SPAD, o teor de N na planta, a área foliar da planta, a altura da cobertura foliar e a massa da planta seca. Esses nossos resultados indicam a nutrição nitrogenada das plantas de feijão-caupi obtida com sementes ricas em Mo pode ser devido à alta atividade da enzima nitrato redutase, ou seja, apesar da baixa nodulação (Tabela 2) apresentada no presente estudo, o Mo presente na semente foi capaz de suprir a deficiência de N do solo. Leite et al. (2009) relataram que em condições similares de clima e solo do presente estudo, o Mo pulverizado nas folhas não influenciou a nodulação das plantas de feijão-caupi. Esses

autores relataram aproximadamente 6 vezes mais nódulos que o presente estudo. As leituras do SPAD do presente estudo tiveram um aumento de 47% em função do conteúdo de Mo da semente de 1,987 para 0,014 μg de Mo semente⁻¹ (Tabela 2). Estudos conduzidos por Vieira et al. (2011) em Coimbra-MG, observaram aumento de 11% (de 35 para 39 unidade SPAD) em função do conteúdo de Mo da semente de 0,007 para 6,961 μg de Mo semente⁻¹.

No presente experimento, os conteúdos de Mo da semente e a inoculação influenciaram o teor de N na folha (Figura 2A) e o conteúdo de N na planta (Figura 2C). O aumento do conteúdo de Mo da semente de 0,014 para 1,987 μg Mo semente⁻¹ proporcionou incremento de 36% (de 24,4 para 33,2 g kg^{-1}) no teor de N na folha (Figura 2A). Em estudos realizados em Coimbra-MG por Vieira et al. (2005), encontraram aumento de 17% (de 29,9 para 35 g kg^{-1}) no teor de N na folha em função do aumento de conteúdos de Mo da semente (de 0,008 para 1,272 μg de Mo semente⁻¹). Resultados que corroboram com a nossa pesquisa, na qual encontramos um teor de 24,4 g kg^{-1} em plantas com conteúdo de Mo da semente 0,014 μg , proveniente de plantas que não foram adubadas com Mo, o que parece indicar que houve deficiência de N. O do teor de N na folha das plantas originadas de semente com 1,987 μg de Mo (29,1 g kg^{-1} sem inoculação e 37,1 g kg^{-1} com inoculação) pode ser explicado através da atividade da enzima nitrogenase e a nitrato redutase. Essas duas enzimas estão envolvidas diretamente no metabolismo do N das plantas. Apesar da baixa nodulação (~4 nódulos/planta e ~102 mg/planta), sugere-se que esse aumento no teor de N na folha das plantas originadas de sementes com mais alto conteúdo de Mo foi devido a atividade da nitrogenase proporcionado pelo Mo presente na semente. Kubota et al. (2008) verificaram em pesquisa em casa de vegetação acréscimo na atividade da enzima nitrogenase aos 30 dias após a emergência (DAE) em plantas provenientes de sementes com alto conteúdo de Mo. Segundo Malavolta et al. (1997), a concentração média de N nas folhas suficiente para o feijoeiro é 38,1 g kg^{-1} . Contudo, segundo Vieira et al. (1992), teor acima de 40 g kg^{-1} é suficiente para o feijão-comum apresentar folhas verdes escuras e atingir altas produtividades.

CONCLUSÃO

Sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de Mo aumenta a produção de sementes na região da Amazônia Oriental, independentemente do uso de inoculante com rizóbio. Estudos futuros nessa região são necessários para confirmar os resultados deste estudo, pois se de fato o uso de sementes ricas em Mo proporciona aumento de produção de feijão-caupi, essa técnica poderia trazer benefícios para o agricultor maranhense.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- Araújo PRA., Araújo GAA, Rocha PR, Carneiro JES. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro comum. Acta. Sci. Agron, 2009;31:227-234.
- Albino UB, Campo RJ. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. Pesqui Agropecu Bras. 2001;36:527-534.
- Borges PRS, Saboya RCC, Saboya LMF, Santos ER, Souza SEA. Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em gurupi, TO. Rev. Caatinga, Mossoró, 2012; 25:37-44.
- Berger PG, Vieira C, Araújo, G de A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. Pesq. Agropecu. Bras. 1996;31:473-480.
- Caires EF, Rosolem CA. Nodulação e absorção de nitrogênio pelo amendoim em resposta à calagem, cobalto e molibdênio. Sci Agr. 2000;5:337-341.
- Coelho FC, Viera C, Mosquim Pr, Cassini STA. Nitrogênio e molibdênio nas culturas do milho e do feijão, em monocultivo e em consórcio: I - Efeitos sobre o feijão. Viçosa. Rev. Ceres. 1998;45:393-407.
- Embrapa arroz e feijão. Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Nordeste e no maranhão (1985 a

2016): área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016.

Fageria NK, Stone LF, Santos AB. Molybdenum requirements of dry bean with and without liming. *Commun Soil Sci Plan.* 2015;46:965-978.

Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. *ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)*. R package version 1.1.2. 2013.

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

Freire filho FR, Ribeiro VQ, Junior ASA, Bastos EA. *Feijão-caupi: avanços tecnológicos*. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

Ferreira ACB, Araújo GAA, Cardoso AA, Fontes PCR, Vieira C. Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. *Acta Sci-Agron, Maringá*, 2003, v.25, p.65-72.

Gonçalves JRP, Fontes JRA, Dias M C, Rocha MM, Filho FRF. BRS Guariba – Nova cultivar de feijão-caupi para o Estado do Amazonas. Manaus: Embrapa comunicado técnico. 2009;76:6.

Gris EP, Castro AMCE, Oliveira FF. Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 2005;29;151-155.

Kubota FY, Neto AC de A, Araújo AP, Teixeira MG. Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. *Rev. Bras. Cienc. Solo, Viçosa*.2008;32:1635-1641.

Kusdra JF. Nodulação do feijoeiro e fixação biológica do nitrogênio em resposta à microbiolização das sementes e à aplicação de micronutrientes. *Sci. Agr.* 2003;4:96-96.

Leite LFC, Araújo ASF, Costa CN, Ribeiro AMB. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. *Rev. Cienc. Agron.* 2009;40:492-497.

Leite UT, Araújo GA de A, Miranda GV, Vieira RF, Carneiro JE de S, Pires AA. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta. Sci-Agron.* 2007;29:113-120.

Marschner, P. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 2012.

Mendel, R.R. Cell biology of molybdenum in plants. *Plant. Cell. Rep.* 2011;30:1787-1797.
Matsui T, Singh BB. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. *Expl. Agric.* 2003;39:29–38.

Malavolta E, Vittori GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

Pacheco RS, Brito LF, Staliotto R, Pérez DV, Araújo AP. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field. Crop. Res.* 2012;136:97-106.

Pires AA, Araújo GA de A, Miranda GV, Berger PG, Ferreira AC de B, Zampiroli PD, Leite UT. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. *Ciênc. agrotec. Lavras*, 2004;28:1092-1098.

Pessoa ACS, Ribeiro AC, Chagas JM, Cassini STA. Nitrogenase and nitrate reductase activities and productivity of common beans in response to foliar application of molybdenum. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 2001;24:217-224.

Pessoa ACS, Ribeiro AC, Chagas JM, Cassini STA. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 2000;24:75-84.

R Core Team 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rufini M, Silva MAP, Ferreira PAA, Cassetari AS, Soares BL, Andrade MJB, Moreira FMS. Symbiotic efficiency and identification of rhizobia that nodulate cowpea in a Rhodic Eutrudox. *Biol Fertil Soils.* 2013;50:115-122.

Rocha PRR, Araújo GAA, Carneiro JES, Cecon PR, Lima TC. Adubação molibídica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. *Rev. Caatinga.* 2011;24:9-17.

Rubio, L.M.; Ludden, P.W. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annu. Rev. Microbiol.* 2008;62:93-111.

Rumjanek NG. et al. Fixação biológica do nitrogênio. In: FREIRE FILHO FR. et al. (Eds). *Feijão-Caupi: avanços tecnológicos*. Brasília: Embrapa, 2005, p.281-335.

Sapucay MJC, Vieira RF, Carneiro JES, Junior TJP, Lima MS, Vidigal SM. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen?. *J. Plant.Nutr.* 2016;39:1644-1653.

Saharan BS, Nehra. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci. Med. Res.* 2011;21:1-30.

Silva MF, Silva Santos CER, Sousa CA, Araújo RSL, Stamford NP, Figueiredo MVB. Nodulação e eficiência da fixação do N₂ em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 2012;36:1418-1425.

Silva RTL, Andrade DP, Melo EC, Palheta ECV, Gomes MAF. Inoculação e adubação nitrogenada na cultura do feijão-caupi em Latossolos da Amazônia oriental. *Rev. Caatinga*, Mossoró. 2011;24:152-156.

Soratto RP, Arf O, Rodrigues RAF, Buzetti S, Silva TRB. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. *Acta. Sci - Agron*, Maringá, 2003;25:89-96.

Tisdale SL, Havlin JL, Nelson WL, Beaton, JD. *Soil fertility and fertilizers*. 5. ed. New York: MacMillan, 1993.

Teófilo EM, Dutra AS, Pitimbeira JB, Dias FTC, Barbosa F de S. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. *Rev. Cienc. Agron*, 2008;39:443- 448.

Taiz L, Zeiger E. *Plant physiol*. 2. ed. (S. 1.): Sinauer Associates, Inc., 1998.

Vieira RF, Paula Júnior TJ, Prado AL, Araújo RF, Lehner MS e Silva RAA. aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Rev. Ceres*, 2015;62:415-419.

Vieira RF, Paula junior TJ, Carneiro JES, Queiroz MV. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. 2014;38:205-213.

Vieira RF, Paula Júnior TJ, Pires AA, Carneiro JES Rocha GS. Common beans seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agron. J.*, 2011;103:1843-1848.

Vieira RF, Ferreira ACB, Prado AL. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: Conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. *Pesq. Agropec. Trop. Goiânia*, 2011;41:163-169.

Vieira RF, Salgado LT, Ferreira ACC. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *J. Plant. Nutr*, 2005;28:393-377.

Vieira RF, Cardoso EJBN, Vieira C, Cassini STA. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *J. Plant. Nutr*, 1998;21:169–180.

Vieira C, Nogueira AO, Araújo GA de A. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijão. *Rev. Agr, Piracicaba*, 1992;67:117-124.

Xavier TF, Araujo ASF, Santos VB, Campos FL. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. *Cienc. Rural*. 2008;38:2037-2041.

Zilli JE, Marson LC, Marson BF, Rumjanek NG, Xavier GR. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. *Acta. amazon*, 2009;39:49-757.

Zimmer W, Mendel R. Molybdenum metabolism in plants. *Plant.Biol*, New York,1999;1:160-168.

ANEXO

ANEXO 1. Normas para publicação da Revista Brasileira do Solo

INFORMAÇÕES GERAIS

Idioma

Ao submeter seu manuscrito para RBCS, recomendamos que o artigo seja revisado por um profissional, especialmente se o inglês não é sua primeira língua. A revisão não é obrigatória, mas assegurará que o conteúdo científico esteja adequado para ser compreendido pelos revisores e editores. Após a aceitação do manuscrito, os editores poderão requerer, se necessário, a revisão do texto por um dos profissionais indicados nesse guia. Manuscritos com inglês inapropriado terão o processo de revisão interrompido/rejeitado pelos Editores e/ou revisores.

Exclusividade e originalidade

Não são aceitos manuscritos submetidos ou já publicados, ainda que parcialmente, em outra revista. O caráter de exclusividade deve ser declarado na *cover letter*. A Revista aceita manuscritos com conteúdo que tenha sido integralmente ou parcialmente divulgados na forma de resumos ou resumo expandido em congresso, ou que sejam parte de monografia, dissertações ou teses acadêmicas. As não conformidades do manuscrito quanto a exclusividade e originalidade serão de inteira responsabilidade do autor correspondente.

Conflito de interesse

Deverá ser declarado na *cover letter* que não há conflito de interesse dos autores de caráter financeiro, pessoal ou de outra natureza que tenha influenciado a produção do trabalho.

Autores

Todos os autores deverão ter o registro ORCID - Connecting Research and Researchers (<https://orcid.org/register>), o qual é exigido na submissão do ScholarOne™. O autor correspondente deve declarar na *cover letter* que todos os autores estão cientes e de acordo com a submissão do manuscrito. A manifestação de desconhecimento ou desacordo com a submissão por qualquer de um dos autores resultará na interrupção da tramitação do

manuscrito. A troca do autor correspondente não é permitida. Alteração na ordem, ou a inclusão de autores será possível na etapa de revisões do manuscrito e deverá ser devidamente argumentada. A contribuição de cada autor para a concepção e produção do manuscrito deverá ser declarada na *Title Page*.

Manuscrito

Os manuscritos devem ser redigidos seguindo as normas para redação científica. A publicação de um experimento em partes (fracionamento do conteúdo) deve ser evitada, mas se comprovadamente necessária, os manuscritos devem ser submetidos em sequência, o que deve ser informado nas respectivas *covers letters*. O manuscrito deve-se adequar a uma das condições:

Artigo Científico – É fundamentado em uma hipótese científica original e ainda não esclarecida, que foi testada por meio de experimentação e, ou modelos teóricos, fundamentados no método científico, com adequado planejamento estatístico e discussão com adequada argumentação científica. Serão priorizados artigos que contribuam para a compreensão de processos/mecanismos que ocorrem no solo. As comparações de métodos, de variedades, de tipos de manejo, etc, se adequarão, excepcionalmente, à categoria de artigo científico apenas quando apresentarem base e, ou, justificativas científicas bem argumentadas e discutidas. O artigo deve conter Título, *Highlights*, *Abstract*, Palavras Chaves, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Referências e pode conter Tabelas e Figuras. É permitida a inclusão de material suplementar (ver Submissão).

Nota científica – Categoria de produção científica que descreve uma técnica, um aparelho, uma nova espécie ou observações e levantamentos de dados limitados a experimentos não repetíveis ou outras situações únicas. Uma nota científica não é um artigo de qualidade inferior. É, em geral, mais curta que o artigo científico. Não precisa ter a estrutura, mas deve obedecer ao mesmo rigor científico do artigo científico e tem o mesmo valor como publicação. Também é permitida a inclusão de material suplementar.

Revisão de Literatura – A submissão de revisão poderá ser espontânea ou induzida por convite do Editor Chefe, mas ambas passam pelo mesmo processo de tramitação. Além de

apresentar o estado do conhecimento a respeito de um tema específico, a revisão deve ter um caráter analítico e crítico, além de conter sugestões para pesquisa.

Carta ao Editor – Deve conter comunicação de matéria relevante para a ciência do solo ou comentário cientificamente crítico de artigos publicados na Revista. Nessa circunstância será concedido aos autores do referido artigo o direito de contra argumentar.

SEÇÕES DOS MANUSCRITOS

A submissão do manuscrito será por meio da plataforma ScholarOne™ acessada pelos links: www.rbcs.org.br http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=01000683&lng=en&nrm=iso <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbcs-scielo>.

Os documentos obrigatórios para submissão são: cover letter, title page e main document. Tabelas, figuras e material complementar são opcionais.

Formatação

Todos os documentos devem ser produzidos em editor de texto, preferencialmente com o uso do Microsoft Word. Recomenda-se que o texto seja alinhado à esquerda, com fonte 12 e com espaçamento entre linhas de 1,5. Não deve ser inserido numeração de linha, porque elas são geradas na conversão automática do documento para o formato pdf pelo sistema de submissão.

Cover letter

A cover letter deve conter: 1) título do manuscrito, 2) declaração de que o trabalho é original e que não foi submetido nem publicado, na íntegra ou em parte, em nenhuma outra revista, 3) declaração de que todos os autores estão cientes do conteúdo do manuscrito e de acordo com a sua submissão, 4) declaração de que não há conflito de interesse financeiro, pessoal ou institucional com as informações e os resultados divulgados por meio do presente manuscrito e 5) informação sobre a relevância do artigo, ressaltando-se o problema, a(s) hipótese(s), o(s) objetivo(s) e, principalmente, o ganho de conhecimento que ele propicia para a ciência do solo. O item 5 será usado na avaliação preliminar sobre o

mérito científico do artigo e será a base para decidir sobre o seguimento (ou não) no processo de avaliação.

Title Page

Deve conter o título de manuscrito. Os nomes dos autores sem abreviações e sem titulação. As afiliações de cada um dos autores, vinculadas por chamadas numéricas, indicando sem abreviações Instituição, Instituto, Departamento, Programa, Cidade, Estado e País. As contribuições de cada um dos autores, também vinculadas por chamadas (porém, em vez de números, deve-se utilizar letras sobrescritas entre parênteses), para a produção do artigo, expressas de forma sucinta, mas compreensiva. As contribuições serão publicadas na versão final do artigo. Agradecimentos aos indivíduos que contribuíram para a realização da pesquisa e produção do manuscrito e às instituições ou organizações públicas ou privadas que deram suporte financeiro ou logístico para a pesquisa.

Main Document

O documento é composto pelo Título, *Highlights*, *Abstract*, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões e Referências.

Título: Deve ser conciso e informativo, evitando símbolos, abreviaturas e fórmulas. Recomenda-se que contenha no máximo 20 palavras. É importante considerar que o título é utilizado nos sistemas de busca.

Highlights: Deve-se fornecer de 3-5 pontos que representem as principais conclusões/resultados do manuscrito. Cada ponto apresentado deve conter no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Abstract: Deve ser conciso e factual, contendo no máximo 400 palavras. O abstract é uma parte independente do artigo, portanto, ele deve ser suficiente por si só para apresentar as principais informações do artigo. Iniciar com uma breve caracterização do problema e a relevância do trabalho. O objetivo deve ser apresentado de forma explícita. Apresentar informações relevantes do material e métodos, os resultados mais importantes e a(s) conclusão(ões). Não deve incluir citações bibliográficas e símbolos ou abreviações que

requeiram a leitura do texto para sua compreensão. Símbolos e abreviações necessárias devem ser definidas na primeira utilização no abstract.

Palavras-chave: Apresentar até cinco palavras diferentes daquelas que constam do título. Não utilizar preposições ou conjunções, tais como “de”, “ou”, “e”. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras. Utilizar abreviações somente se forem de amplo conhecimento.

Introdução: A Introdução deve ser clara e concisa, mas suficiente para evidenciar a relevância do problema abordado. As citações bibliográficas devem ser específicas e atualizadas, preferentemente de revistas com elevado índice de impacto. Evitar citações de tese, dissertações, boletins, anais de congressos e outros documentos de difícil acesso. A hipótese deve ser mencionada de forma explícita. A hipótese é uma afirmação (explicação) cuja verossimilidade pode, ou não, ser verificada e a partir da qual se extrai uma conclusão. Portanto, a hipótese não deve ter a conotação de pergunta nem condicional; ela deve ser uma afirmativa, utilizando-se o verbo no indicativo presente, com uma relação causa-efeito. A introdução deve ser finalizada com a indicação do(s) objetivo(s).

Material e Métodos: Pode ser dividido em subitens para facilitar a apresentação dos procedimentos adotados. Deve ser suficientemente detalhado para permitir que o trabalho possa ser repetido. As informações devem ser ordenadas segundo uma hierarquia lógica, que possibilite uma fácil compreensão. Para trabalhos de campo é relevante indicar a localização com as coordenadas geográficas, condições climáticas e classe de solos. Para os artigos que contemplam estudos no Brasil, a classificação dos solos deve ser feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, edição 2018) e, adicionalmente, apresentar entre parênteses, a classe equivalente consistente com sistemas de classificação internacionais (WRB ou Soil Taxonomy). Para a classificação em sistemas internacionais poderá ser utilizada tabela de equivalência parcial, disponível no site da revista ou no Anexo J do SiBCS. Se os dados completos estiverem disponíveis, os solos podem ser também classificados de acordo com algum dos sistemas internacionais. Para realizar a correspondência das classes de solos, consulte a **Tabela de Equivalência** fornecida neste site ou o Apêndice J do SiBCS. Artigos originados de

autores estrangeiros, em que os solos foram inteiramente analisados e classificados em um dos sistemas internacionais (Soil Taxonomy ou WRB) não precisarão informar a classificação no SiBCS. Métodos já consagrados podem ser citados com base em uma referência, destacando alterações somente se forem relevantes. Citar os nomes de reagentes, assim como nomes, modelos e marcas de equipamentos somente se forem indispensáveis para a repetição da pesquisa. Informar de forma clara o delineamento experimental e o procedimento estatístico empregado na análise dos resultados. Indicar o software utilizado na análise estatística apenas se for relevante.

Resultados: Os resultados devem ser apresentados de forma objetiva e concisa, utilizando tabelas, ou, preferencialmente quando possível, figuras contendo gráficos, imagens ou modelos esquemáticos. É recomendado não utilizar mais de quatro tabelas e quatro figuras. No relato dos resultados evitar a transcrição para o texto dos valores numéricos já apresentados nas tabelas e figuras. Citações das tabelas e figuras podem ser apresentadas no fluxo do texto, como por exemplo, tabela 1 ou figura 1, ou em destaque entre parêntese (Tabela 1 ou Figura 1).

Discussão: Deve ser desenvolvida com base nos resultados relevantes, sem repetir a apresentação dos resultados. A discussão deve apresentar argumentos que evidenciem a aceitação ou a rejeição da(s) hipótese(s) do trabalho. Ela deve dar sustentação para as conclusões. Resultados já publicados podem ser citados para dar suporte aos argumentos, sem, contudo, fazer discussão sobre eles. Evitar citações excessivas, como aquelas que dão suporte a conceitos básicos e de conhecimento já consagrado.

Conclusões: As conclusões devem ser coerentes com a(s) hipótese(s) e objetivo(s) e não devem ser repetição dos resultados. Não devem ser numeradas nem apresentadas na forma de itens. Devem ser apresentadas como um curto texto de forma clara sem argumentos e justificativas e suficiente por si, isto é, sem a necessidade de recorrer aos resultados e à discussão.

Referências bibliográficas: Toda citação utilizada ao longo do texto deve ser incluída na lista de referências. Não é recomendado inserir comunicação pessoal na lista de referência.

As referências devem ser sequenciadas prioritariamente em ordem alfabética e secundariamente em ordem decrescente da data da publicação. As referências devem ser apresentadas na língua original da publicação. Na submissão não será exigido uniformização do estilo das referências. No entanto, a padronização será exigida, obrigatoriamente, para os manuscritos aceitos, assim, sugere-se que já na submissão adote-se o estilo recomendado. Adota-se o estilo de Vancouver adaptado, conforme exemplos:

Citação no texto

As citações podem ser diretas como por exemplo, Ferguson (2016) ou destacadas entre parênteses (Roberts, 2015). Manuscritos com dois autores devem ser citados como: Autor 1 and Autor 2 (Ano) ou (Autor 1 and Autor 2, Ano). Exemplo: Silva and Smith (1975) ou (Silva and Smith, 1975). Para manuscritos com mais de dois autores, deve-se utilizar o último nome do primeiro autor, seguido pela expressão latina abreviada “et al.” E ano de publicação. Exemplo: Roberts et al. (2015) ou (Roberts et al., 2015). Várias citações agrupadas entre parêntese devem ser sequenciadas em ordem cronológica e, quando o ano se repete, prevalece a ordem alfabética). Exemplos: (Tanaka and Yano, 2005; Jackson et al., 2008). Manuscritos cujos autores e o ano de publicação são os mesmos, devem ser identificados por letras ‘a’, ‘b’, ‘c’, etc., alocadas após o ano de publicação. Exemplos: Silva (1975a, b) ou (Silva, 1975a, b).

Comunicação pessoal deve ser citada somente se for imprescindível, indicando-se o nome do informante e a data entre parêntese. A comunicação deve ser vinculada a uma nota de rodapé numerada, onde se inclui o nome do informante, a data que a informação ocorreu, estado e país da Instituição de vínculo do informante e não deve constar da lista de Referências Referenciando periódicos Autor AA, Autor BB. Título do artigo. Título abreviado do periódico. Ano de publicação; volume: páginas inicial e final. DOI.

A abreviatura dos periódicos pode ser verificad

em: <https://www.library.caltech.edu/journal-title-abbreviations>. Exemplos: Camargo LA, Marques Júnior J, Pereira GT. Spatial variability of physical properties of an Alfisol under different hillslope curvatures. Rev Bras Cienc Solo. 2010;34:617-30.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300003>

Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma. 2006;132:273-90.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.025>

Livro

Author AA, Author BB. Título da publicação. Número da edição (se for a primeira edição, não precisa informar). Local da publicação: Editora; ano de publicação. Exemplos:

Klug HP, Alexander LE. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1974.

Ab'Sáber A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial; 2012.

Capítulo de livro

Autor AA, Autor BB. Título da parte referenciada seguida de In: Editor AA, Editor BB, editores. Título da publicação. Número da edição. Local de publicação: Editora; ano.

Páginas inicial e final. Exemplos:

Jackson ML. Chemical composition of soil. In: Bear FE, editor. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York: Reinhold; 1964. p. 71-141.

Sharpley AN, Rekolainen S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE, editors. Phosphorus loss from soil to water. New York: CAB International; 1997. p. 1-53.

Anais de Congresso

Autor AA, Autor BB. Título do trabalho. In: Tipo de publicação, número e título do evento [CD-ROM, quando publicado em]; data do evento (dia mês ano); cidade e país de realização do evento. Cidade (da Editora): Editora ou Instituição responsável pela publicação; ano de edição (nem sempre é o mesmo do evento). Paginação do trabalho ou do resumo. Exemplos:

Bailey TB, Swan JB, Higgs RL, Paulson WH. Long-term tillage effects on continuous corn yields. In: 8th Annual conference proceedings - Annual conference on applied statistics in agriculture; 1996 Apr 28-30; Manhattan, Kansas. Manhattan: Kansas State University Libraries; 1996. p. 17-32.

Fonte digital

Autor AA, Autor BB (usar nome de organizações/institutos quando não houver autor ou editor explícito). Título do material referenciado. Local de publicação (se houver): Editora (se houver); Ano [cited ano mês dia]. Available from: URL. Exemplos:

Institute for Reference Materials and Measurements - IRMM. Certified reference material BCR - 142R; 2007 [cited 2016 Jan 18]. Available from:

http://www.lgcstandards.com/medias/sys_master/pdfs/pdfs/ha6/hc4/9208111169566/BCR-142R-ST-WB-CERT-1515931-1-1-1.pdf.

Dissertações e teses

Autor AA. Título da tese incluindo subtítulo se houver [grau acadêmico]. Cidade:

Instituição onde foi defendida; ano. Exemplo:

Brienza S Jr. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil [thesis]. Göttingen: University of Göttingen; 1999.

Tabelas: As tabelas não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer acima da tabela e devem conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão da tabela devem ser apresentadas como notas logo abaixo da tabela, devidamente numeradas com números sobrescritos e entre parênteses. Linhas horizontais são utilizadas apenas no topo da tabela para destacar as variáveis e para finalizar a tabela. No interior da tabela não devem conter linhas verticais e horizontais. As unidades referentes aos resultados devem aparecer no interior da tabela acima da primeira linha de resultados. As tabelas devem ser produzidas com ferramenta específica dos softwares editores de texto, preferencial, o MS Word ou MS Excel. Não inserir tabelas no formato de imagem. Evitar tabelas compostas por apenas uma linha de resultados ou uma coluna de variáveis. As tabelas devem ser ajustadas ao formato retrato. Asteriscos ou letras indicando significância e diferença estatística, respectivamente, devem ser alocados na mesma célula que os valores. Não insira linhas e colunas vazias na tabela. Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas tabelas.

Figuras: Figuras são elementos que podem conter gráficos em planos cartesianos ou tridimensionais, imagens ou modelos esquemáticos. As figuras não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer abaixo da figura e deve conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão das figuras devem ser apresentadas como notas logo abaixo da figura. Em figuras com mais de um gráfico, eles devem ser identificados no canto superior esquerdo com as letras (a), (b), (c), etc. e devem ser devidamente identificados no título da figura. Recomenda-se não utilizar figuras com mais de quatro

gráficos. As figuras devem ter formato retrato. Na submissão serão aceitas figuras nos formatos EPS, TIFF e PDF (JPG e GIF são aceitáveis). Após aprovação do manuscrito será requerido o envio das figuras em formato editável, ou seja, salva como projeto dentro dos programas que as geraram. Não serão aceitas figuras gráficas inseridas como imagem. Fotografias devem estar no formato *tagged image* (TIF) com 500 dpi. O estilo nas figuras deve acompanhar o padrão adotado ao longo do texto (mesma fonte, unidades, etc). Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas figuras.

Fórmulas e equações: Devem ser inseridas como texto editável, não como imagens.

Fórmulas e equações devem ser criadas por ferramentas de edição de equações disponíveis em softwares de edição de texto (Word, por exemplo) ou outra ferramenta que permita editá-las. Ao longo do texto, as equações devem ser citadas como equation 1 ou destacadas entre parênteses (Equation 1). Devem ser numeradas sequencialmente no canto direito como Eq. 1, Eq. 2, Eq.3, etc.

Material Complementar: Com a opção de material complementar é possível produzir artigos mais concisos focados nas informações mais relevantes. Materiais complementares são tabelas, figuras, modelos, fotografias, planilhas de dados, esquemas de processos ou equipamentos, que contribuam para dar maior suporte ao artigo. Todo material suplementar deve conter um título sucinto com os esclarecimentos necessários para a sua compreensão. O material suplementar não deve receber citações no texto do artigo. A existência de material suplementar ao artigo será indicada após as referências, com link de acesso. O material suplementar não será diagramado e será publicado na forma apresentada pelo autor. Sugere-se que as tabelas e figuras atendam os padrões de composição e formatação indicadas anteriormente.