

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

ESTER DE PAIVA ALVES BARBOSA

**EFEITO DO USO DE SEMENTE RICA EM MOLIBDÊNIO NO DESEMPENHO
DO FEIJÃO-CAUPI EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL
DO MARANHÃO**

**São Luís - MA
2019**

ESTER DE PAIVA ALVES BARBOSA

Engenheira Agrônoma

**EFEITO DO USO DE SEMENTE RICA EM MOLIBDÊNIO NO DESEMPENHO
DO FEIJÃO-CAUPI EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL
DO MARANHÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira

**São Luís – MA
2019**

Barbosa, Ester de Paiva Alves.

Efeito do uso de semente rica em molibdênio no desempenho de feijão-caupi em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão / Ester de Paiva Alves Barbosa. – São Luís, 2019.

48 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Adubação molibdica. 3. Adubação nitrogenada. 4. Molibdênio. I. Título

CDU: 635.654-18(812.1)

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

ESTER DE PAIVA ALVES BARBOSA

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Dr. Rogério Faria Vieira - Orientador

Prof. Dr. Heder Braun (Membro)

Prof^a. Dr^a. Thais Roseli Corrêa (Membro)

**São Luís – MA
2019**

Dedico!

A Deus.

*Aos meus pais Rosemary de Pereira de Paiva e Raimundo Nonato dos Santos Alves, por
todo o carinho e ensinamentos em toda a minha vida.*

*Ao meu esposo Werlen Araújo Barbosa e minha filha Júlia de Paiva Alves Barbosa por
serem minha inspiração e me darem forças em toda trajetória.*

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço à minha família, em especial minha madrasta Ana Paula Nunes de Araújo Alves, que sempre me incentivou e apoiou nos estudos e na vida.

Ao meu amado Werlen Araújo Barbosa que acompanhou meus passos durante a carreira acadêmica desde o começo e até hoje posso contar com seu apoio.

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

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

Ao meu orientador Prof. 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, obrigada por todo conhecimento e paciência desde a graduação, também pela atenção e confiança depositada a mim.

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, e aos demais professores.

Agradeço à Rayanne Cristine C. E Ferreira e Denise Araújo da Silva, secretárias 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.

A equipe de pesquisa do professor Heder: Assistone, Erivaldo, Flávia, Fernando, Francisneide, Gustavo, Karen, Lincon, Marcelo, Vanessa e Werlen, obrigada pelo apoio e assistência nas execuções das atividades, aprendi muito com vocês.

A todos os colegas da turma do mestrado 2017, Ana Carolina, Flaviana, Geusa, Larissa, Larisse, Mauriana, Rafael, Régila.

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

Obrigado a todos!

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

Salmos 118:28-29

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	10
CAPÍTULO I	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Feijão-Caupi	13
2.2 Nitrogênio	14
2.3 Molibdênio	16
2.4 Sementes enriquecidas com molibdênio.....	17
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO II	25
RESUMO	26
INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	28
Tratamentos e Delineamento experimental	29
Instalação e condução do experimento	29
Características avaliadas	29
Análises estatísticas	30
RESULTADOS	30
DISCUSSÃO	34
CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXO	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Efeitos dos conteúdos de Mo da semente dentro de cada dose de N no número de nódulos (A), massa dos nódulos secos (B), produtividade de grãos (C), teor de N na folha (D) e leitura do SPAD (E). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barrinha representa o desvio-padrão. 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor de *P* para as variáveis número de nódulos, massa dos nódulos secos, produtividade de grãos, teor de N na folha e leitura do SPAD em função dos conteúdos de Mo da semente, da dose de N e da interação entre os conteúdos de Mo da semente e dose de N. CV (%) = coeficiente de variação. 30

Tabela 2 - Efeito dos conteúdos de Mo da semente (\pm DP) e da dose de N na massa da planta seca, altura da cobertura foliar e comprimento de vagem. 32

Tabela 3 - Efeito dos conteúdos de Mo da semente (\pm DP), da dose de N e da interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N nos componentes da produtividade do feijão-caupi. 33

RESUMO GERAL

O feijão-caupi é uma cultura de subsistência e desempenha papel fundamental no contexto socioeconômico para as famílias dos agricultores que vivem no Norte e Nordeste. Nosso objetivo foi estudar o efeito dos conteúdos de molibdênio (Mo) da semente na nutrição nitrogenada e produtividade de grãos do feijão-caupi em solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão. As sementes da cultivar Guariba com três conteúdos de Mo foram produzidas na Zona da Mata de Minas Gerais, em Coimbra-MG. Com as sementes colhidas da primeira colheita foi instalado um experimento em São Luís-MA no esquema fatorial 3 x 2: conteúdos de Mo da semente ($0,014 \pm 0,005$; $0,674 \pm 0,151$ e $1,987 \pm 0,278$ $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$) e doses de N (0 e 60 kg ha^{-1}). Metade da dose de 60 kg ha^{-1} foi aplicada no sulco de plantio e a outra metade foi aplicada em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). Foi usado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. A aplicação do N não influenciou a produtividade de grãos. Com N, os conteúdos de Mo da semente não influenciaram a produtividade de grãos e o teor de N na folha. Sem N, a produtividade de grãos e o teor de N na folha obtida com plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278$ $\mu\text{g semente}^{-1}$ foi 69% e 13% maior que as plantas originadas de sementes com conteúdo de $0,014 \pm 0,005$ $\mu\text{g semente}^{-1}$. Nossos resultados sugerem que sementes ricas em Mo aumentam a produtividade de grãos e a nutrição nitrogenada do feijão-caupi em solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão e dispensam a adubação nitrogenada.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, adubação molíbdica, adubação nitrogenada, sementes enriquecidas com molibdênio.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido por feijão macassar ou feijão-de-corda, é uma leguminosa de grande importância, tanto como alimento quanto fonte de renda de famílias do Norte e Nordeste. Nessas regiões, o feijão-caupi é um dos componentes da dieta alimentar por ser rico em proteína, minerais e fibras (FROTA et al., 2008; SINGH, 2007; TEÓFILO et al., 2008). Segundo Conab (2019), a área total semeada no Maranhão foi 43,6 mil hectares, com produção de 25,2 mil toneladas e produtividade média de 577 kg ha⁻¹.

No Brasil, a deficiência de nutrientes nos solos, em especial do nitrogênio (N), tem sido considerada um dos fatores que explicam os baixos rendimentos do feijão-caupi, em razão do elevado custo dos adubos nitrogenados e do baixo poder aquisitivo da maioria dos agricultores familiares. 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, ácidos e pouca disponibilidade dos principais nutrientes responsáveis para o crescimento e desenvolvimento vegetal (AGUIAR et al., 2010, 2013).

Dentre os micronutrientes, o molibdênio (Mo) desempenha papel indispensável no crescimento e desenvolvimento das plantas. Como os solos maranhenses são arenosos e ácidos, as condições para que haja deficiência de Mo ocorrem e indicam uma possibilidade de que o Mo possa aumentar a produtividade da cultura. Por isso, em solos deficientes em Mo, e especialmente nos solos ácidos, a adubação com adubo molíbdico pode trazer aumentos expressivos de produtividade para o feijoeiro (PESSOA et al., 2000; VIEIRA et al., 2005; SAPUCAY et al., 2016).

O Mo possui importantes funções no metabolismo do N de quase todos os organismos vivos (SCHWARZ et al., 2009; MARSCHNER, 1995). É componente principal da nitrogenase, enzima relacionada à redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) pelas leguminosas, e da redutase do nitrato (N-NO₃) em nitrito (N-NO₂) (SCHWARZ et al., 2009; KAISER et al., 2005). Além dessas importantes enzimas, o Mo atua nas enzimas xantina oxidase, aldeído oxidase e sulfito oxidase, que têm influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos e na formação do pólen e à síntese proteica (MENDEL, 2011; MARTINÉZ et al., 1996).

Estudos realizados na Zona da Mata de Minas Gerais verificaram que há aumento da nutrição nitrogenada e de produtividade do feijoeiro à adubação com Mo tanto via

sementes (VIEIRA et al., 2005, 2011b) quanto via foliar (BERGER et al., 1996; ARAÚJO et al., 2009). Nesse local, experimentos realizados por Sapucay et al. (2016) sugerem que o uso de Mo aplicado via foliar no lugar do N em cobertura atendeu às demandas de N das plantas para rendimentos tão elevados como 3000 kg ha⁻¹ em solos pobres de Mo e com população de rizóbios nativos. 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.

De acordo com Vieira et al. (2005) o uso do Mo é pequeno devido à falta de acesso do agricultor a essa tecnologia e/ou à indisponibilidade do Mo no comércio local. Uma possível solução para esse problema é o uso de sementes com alto conteúdo de Mo, que proporciona o mesmo efeito do Mo aplicado na folhagem (VIEIRA et al., 2005; VIEIRA et al., 2011a; PACHECO et al., 2012; VIEIRA et al., 2014; VIEIRA et al., 2015). Não há na literatura informação sobre a eficácia do uso de sementes ricas em Mo no desempenho do feijão-caupi em solos coesos e de baixa fertilidade natural do Maranhão. Nossa hipótese é que o uso de sementes de feijão-caupi ricas em Mo seja possível dispensar a adubação nitrogenada em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Portanto, o nosso objetivo foi avaliar os efeitos do uso de semente rica em Mo na nutrição nitrogenada e produtividade do feijão-caupi em solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-Caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma leguminosa de origem africana bem adaptada as condições edafoclimáticas do semi-árido brasileiro. É considerada cultura de subsistência e desempenha papel fundamental no contexto socioeconômico para as famílias que vivem no Norte e Nordeste, onde ocupa aproximadamente 60% da área total plantada com feijão (BRITO et al., 2009). Seus grãos são fontes de proteínas, aminoácidos, tiamina, niacina e fibras (FROTA et al., 2008; SINGH, 2007; TEÓFILO et al., 2008). Nigéria, Níger e Brasil são os países que possuem a maior área cultivada e as maiores produções de feijão-caupi do mundo (FAOSTAT, 2011).

O feijão-caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verde. É um dos principais componentes da dieta alimentar do Nordeste e Norte do Brasil, especialmente na zona rural. Essa cultura representa 95% a 100% do total das áreas plantadas com caupi nos estados do Amazonas, Maranhão, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (EMBRAPA MEIO NORTE, 2003). Nas regiões tropicais, o feijão-caupi é uma das culturas de segunda safra mais adequada, pois apresenta rusticidade (MATSUI e SINGH, 2003).

Os rendimentos do feijão-caupi no Maranhão ainda são considerados baixos ($\sim 500 \text{ kg ha}^{-1}$) (CONAB, 2019), devido uma série de estresses bióticos e abióticos como, deficiência de nutrientes no solo, principalmente do N, e estresses decorrentes da baixa disponibilidade hídrica, provocados por períodos de estiagem e altas temperaturas (SILVA et al. 2012). Além do baixo nível tecnológico empregado pelos produtores, do elevado custo dos fertilizantes e ao cultivo em solos de baixa fertilidade natural (LEITE et al., 2007; XAVIER et al., 2007; MARTINS et al., 2003; CABALLERO et al., 1985; MERCANTE et al., 1999).

O feijão-caupi pode dispensar o uso de adubos nitrogenados por ter a capacidade de fixação do N_2 atmosférico por meio da fixação biológica de N (EMBRAPA MEIO NORTE, 2003). 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 do N aplicado pode ser perdido por lixiviação e volatilização (SORATTO et al., 2003).

2.2 Nitrogênio

O N é nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Deficiência de N e de clorofila levam a planta a utilizar, de forma ineficiente, a luz como fonte de energia para realizar funções essenciais como absorção de nutrientes e produção de carboidratos (MARSCHNER, 1995). Há várias fontes de N para as plantas, dentre elas: o solo, através da mineralização da matéria orgânica, a aplicação de adubos nitrogenados, como ureia e sulfato de amônio e a fixação biológica de N_2 atmosférico, por meio da associação com rizóbios (HUNGRIA et al., 2007; GUALTER et al., 2011; SILVA NETO et al., 2013). Para a planta usar o N de forma adequada, deve-se considerar aspectos técnicos, econômicos e ambientais (CERETTA e SILVEIRA, 2001), pois esse

macronutriente está sujeito a perdas por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização (AMADO et al., 2002).

O bom manejo desse macronutriente pode aumentar a produção de matéria seca, a capacidade fotossintética, o rendimento de grãos, a eficiência do uso do N e minimizar as perdas para meio ambiente (CIAMPITTI e VYN, 2011; HALVORSON et al., 2010; MA e BISWAS, 2016; MA et al., 2012; MUCHOW, 1998). Para isso, buscar incremento na eficiência do uso do N geralmente exige doses elevadas de fertilizante nitrogenado sintético (BECHE et al., 2014; GAJU et al., 2011; HAMMAD et al., 2017). A aplicação de N mineral em solos tropicais normalmente apresenta baixa eficiência de recuperação pelas plantas, inferior a 50%, em solos arenosos fica entre 5% e 10%. O uso do adubo nitrogenado no cultivo do feijão-caupi tem custo econômico elevado em solos pobres e também custo ecológico devido às perdas principalmente por lixiviação na forma de nitrato (DUQUE et al., 1985; SORATTO et al., 2003).

As fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira são a ureia e o sulfato de amônio. A ureia, pelas suas características e reação no solo, apresenta grande potencial de perda por volatilização na forma de NH_3 (KELLER e MENGEL, 1986; ROCHETTE, et al., 2013). Quando a ureia não é coberta com solo ou não é incorporada rapidamente ao solo pela chuva ou irrigação pode haver perdas de 31 a 78% do total de N aplicado (LARA CABEZAS et al., 1997; TEIXEIRA et al., 2016). O sulfato de amônio, embora com pouco potencial de perdas por volatilização, apresenta alta capacidade de acidificação do solo (BARBOSA FILHO et al., 2005). O sulfato de amônio também tem a vantagem sobre a ureia de ser fonte de enxofre. Logo, é necessário adequar a quantidade correta de N à necessidade das plantas do feijão-caupi e manejar o N adequadamente para reduzir perdas de N por lixiviação ou na forma gasosa (PESSOA et al., 2001).

2.3 Molibdênio

O Mo é o micronutriente exigido em menor quantidade para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, sua deficiência é tão prejudicial quanto a falta de um macronutriente (TAIZ e ZEIGER, 2009). 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 (KAISER et al., 2005; RUBIO e LUDDEN, 2008).

A nitrogenase atua na fixação biológica de N e a nitrato redutase na redução do nitrato ($N-NO_3$) a nitrito ($N-NO_2$) (KERBAUY, 2012). Nos sistemas biológicos, o Mo é constituinte das enzimas nitrato redutase (CE 1.6.6.1), nitrogenase (EC 1.18.6.1), sulfito oxidase (EC 1.8.3.1), xantina desidrogenase (CE 1.17.1.4) e aldeído oxidase (CE 1.2.3.1) (MENDEL e HANSCH, 2002). Outras funções do Mo na planta estão relacionadas à formação do pólen e à síntese proteica (MARTINÉZ et al. 1996). O pH do solo e os óxidos de Al e Fe influenciam a disponibilidade de Mo para as plantas (TISDALE et al., 1993). A disponibilidade de Mo no solo aumenta com o aumento do pH e diminui com o aumento dos óxidos de Fe e Al.

Em casa de vegetação, Jacob-Neto e Franco (1986) determinaram que o nível crítico de Mo nas sementes para suprir a necessidade da planta foi de $3,51 \mu\text{g}$ de Mo semente⁻¹, quantidade suficiente para as plantas de feijão se desenvolverem sem adubação complementar. Berger et al. (1996) verificaram que o Mo aplicado via foliar na dosagem de 78 g ha^{-1} proporcionou aumento na produtividade de 163% quando comparado com o controle que não recebeu Mo. Para o caso da Zona da Mata de Minas Gerais, a dose de 70-100 g ha^{-1} aplicadas aproximadamente aos 25 dias após a emergência (DAE) é a mais adequada para o feijão-comum (AMANE et al., 1999; BERGER et al., 1996; PESSOA et al., 2001).

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).

Em estudo realizado por Vieira et al. (2005) em Minas Gerais, a aplicação de 1.440 g ha^{-1} de Mo não foi tóxica para a planta, e as sementes continham até 13 vezes mais Mo que o controle que não recebeu Mo. Em solo rico de N, o conteúdo de Mo na semente

não influenciou a produtividade. Entretanto, em solos pobres em N as plantas originadas de sementes enriquecidas em Mo apresentaram maior rendimento de grãos que as plantas originadas de sementes com baixo conteúdo de Mo.

A adubação foliar com Mo dos feijoeiros-comum aumenta o teor de Mo das sementes colhidas dessas plantas. Ademais, como o Mo é necessário às plantas em baixas concentrações, é possível fornecer esse micronutriente para as plantas originadas de sementes grandes, como as de feijão-comum, feijão-caupi e soja. Na Zona da Mata de Minas Gerais, Vieira et al. (2011b) verificaram que o conteúdo de $3,639 \pm 0,751 \mu\text{g Mo semente}^{-1}$ é suficiente para complementar o Mo absorvido do solo pelos feijoeiros. Sapucay et al. (2016) relataram que é possível alcançar produtividades de grãos do feijoeiro de 3000 kg ha^{-1} com adubação molíbdica foliar e sem adubação nitrogenada em cobertura.

2.4 Sementes enriquecidas com molibdênio

O Mo pode ser fornecido às plantas de três formas: via solo (BASSAN et al., 2001), via pulverização na folhagem (ASCOLI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2009; VIEIRA et al., 2010) e tratamento de sementes por imersão em solução aquosa (LUTTS et al., 2016, MAJDA et al., 2019) ou enriquecimento de sementes com Mo (VIEIRA et al., 2005, 2011). O fornecimento do Mo via tratamento de semente e via solo pode ter sua eficiência comprometida e reduzir a disponibilidade para as plantas, devido o processo de imobilização do Mo pela matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio. Mas, o tratamento de semente teria maior eficiência em razão da pequena dose a ser aplicada (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O uso do Mo por agricultores brasileiros ainda é muito baixo devido à falta de acesso a essa tecnologia e/ou à indisponibilidade do Mo no comércio. De acordo com Vieira et al. (2015), uma possível solução para esse problema é o uso de sementes enriquecidas com Mo.

Essa tecnologia é de baixo custo e uma forma prática de se disponibilizar Mo para as plantas (VIEIRA et al., 2005, 2015; PACHECO et al., 2012). Para se produzir sementes ricas em Mo, as plantas das quais são colhidas as sementes são pulverizadas com uma solução de Mo, na fase reprodutiva, geralmente mais de uma vez (CAMPO et al., 2009, VIEIRA et al., 2010, VIEIRA et al., 2015), com dose total de Mo de aproximadamente 600

g ha⁻¹ para as condições da Zona da Mata de Minas Gerais. Essa dose é mais alta que as recomendadas para pulverização (70 a 100 g ha⁻¹) para prevenir ou corrigir deficiência de Mo no solo dessa região (VIEIRA et al., 2014). O Mo contido na semente supre apenas a planta-filha, ou seja, as sementes colhidas da planta-filha voltam a ser pobres em Mo se o solo for deficiente nesse micronutriente (VIEIRA et al., 2005).

O 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. Experimentos com sementes ricas em Mo foram realizados por Vieira et al. (2005), Vieira et al. (2011a), 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 de produção, o que pode ser útil para os agricultores maranhenses.

O fornecimento de sementes de feijão-caupi enriquecidas com Mo poderá permitir diversas vantagens para os agricultores maranhenses, caso nos resultados no Maranhão sejam semelhantes aos obtidos na Zona da Mata de Minas Gerais, já que seriam eliminadas as perdas do fertilizante aplicado e a disponibilidade do nutriente ocorrerá de acordo com a demanda da planta, aumentando, assim, a eficiência do uso do nutriente.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.C.F.; BICUDO, S.J.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; MARTINS, A.L.S.; COELHO, K.P.; MOURA, E.G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 86, p. 189-198. 2010.
- AGUIAR, A.C.F.; CÂNDIDO, C.S.; CARVALHO, C.S.; MONROE, P.H.M.; MOURA, E.G. Organic matter fraction and pool of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158-164. 2013.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de cultura de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 241-248. 2002.
- AMANE, M.I.V.; VIEIRA, C.; NOVAIS, R.F.; ARAÚJO, 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.
- ARAÚJO, P.R.A.; ARAÚJO, G.A.A.; ROCHA, R.R.; CARNEIRO, J.E.S. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro comum. **Acta Scientiarum**. Agronomy Maringá, v. 31, n. 2, p. 227-234. 2009.
- ASCOLI, A.A.; SORATTO, R.P.; MARUYAMA, W.I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 377-384. 2008.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F.da. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n.1, p. 69-76. 2005.
- BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 76-83. 2001.
- BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S.C.; SASSI, L.H.S.; DE OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 948-957. 2014.
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A.A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 473-490. 1996.
- BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ¹⁵N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 895-905. 2009.

CABALLERO, S.V.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E.; VICTORIA, R.L. Utilização de fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 1031-1040. 1985.

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.

CIAMPITTI, I.A.; VYN, T.J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. **Field Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 2-18. 2011.

CERETTA, C.A.; SILVEIRA, M.J. **Manejo da fertilidade do solo para altas produtividades**. In: CARLESSO, R. et al. (Ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, p. 10-20. 2001.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2018/2019, v.6 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-126. 2019.**

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132. 2007.

DUQUE, F.F.; NEVES, M.C.P.; FRANCO, A.; VICTORIA, R.L.; BODDEY, R.M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and quantification of N₂ fixation using ¹⁵N. **Plant and Soil**, v. 88, p. 333-343. 1985.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo do feijão-caupi**. 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 4 de maio de 2017.

FAOSTAT. Production Crops. Disponível em: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=en#cnanchor>. Acesso em 18 maio 2017.

FROTA, K.M.G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P.H.N.; CRUZ, R.J.; ARÊAS, J.A.G. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 73, n. 9, p. 235-240. 2008.

GAJU, O.; ALLARD, V.; MARTRE, P.; SNAPE, J.W.; HEUMEZ, E.; LEGOUIS, J.; MOREAUB, D.; BOGARDB, M.; GRIFFITHS, S.; ORFORDD, S.; HUBBART, S.; FOULKES, M.J. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. **Field Crops Research**, v. 123, n. 2, p. 139-152. 2011.

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

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J.; ALLUVIONE, F. Nitrogen Source Effects on Nitrous Oxide Emissions from Irrigated No-Till Corn. **Journal of Environment Quality**,

v. 39, n. 5, p. 1554. 2010.

HAMMAD, H.M.; FARHAD, W.; ABBAS, F.; FAHAD, S.; SAEED, S.; NASIM, W.; BAKHAT, H. F. Maize plant nitrogen uptake dynamics at limited irrigation water and nitrogen. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2549-2557. 2017.

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.

JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Adubação de molibdênio em feijoeiro. EMBRAPA-CNPAB (Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia). Comunicado Técnico nº. 12, 4p. Seropédica, julho. 1986.

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.

KELLER, G.D.; MENGEL, D.E. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p.1060-1063. 1986.

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

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496. 1997.

LEITE, U.T.; ARAÚJO, G.A.A.; MIRANDA, G.V.; VIEIRA, R.F.; CARNEIRO, J.E.S.; PIRES, A. A. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 29, n. 1, p. 113-120. 2007.

LUTTS, S.; BENINCASA, P.; WOJTYLA, L.; KUBALA, S.; PACE, R.; LECHOWSKA, K.; QUINET, M.; GARNCZARSKA, M. Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. 2016.

MA, B.L.; BISWAS, D.K. Field-level comparison of nitrogen rates and application methods on maize yield, grain quality and nitrogen use efficiency in a humid environment. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 5, p. 727-741. 2016.

MA, B.L.; LIANG, B.C.; BISWAS, D.K.; MORRISON, M.J.; MCLAUGHLIN, N.B. The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 94, n. 1, p. 15-31. 2012.

MAJDA, C.; KHALID, D.; AZIZ, A.; RACHID, B.; BADR, A.; LOTFI, A.; MOHAMED, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of

molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 654-663. 2019.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York, Academic Press, 889p. 1995.

MARTINÉZ, E.L.; BARRACHINA, A.C.; CARBONELL, F.B.; POZO, M.A.; GARCIA, M.A.; BENEYTO, J.M. Molybdenum uptake, distribution and accumulation in bean plants. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 5, p. 73-78. 1996.

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

MATSUI, T.; SINGH, B.B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. **Experimental Agriculture**, v.39, p.29-38. 2003.

MENDEL, R.R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant Cell Reports**, v. 30, n.10, p.1787-1797. 2011.

MENDEL, R.R.; HANSCH, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 375, p. 1689-1698, 2002.

MERCANTE, F. M.; TEIXEIRA, M.G.; ABBOUD, A.C. S.; FRANCO, A. A. Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. **R. Univ. Rural: Sér. Ciênc. Vida**, v. 21, p. 27-146. 1999.

MUCHOW, R. C. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. **Field Crops Research**, v. 56(1-2), p. 209-216. 1998.

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**, v. 24, 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**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 75-84. 2000.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GASSER, M.J.; MACDONALD, D.; PELSTER, D.E.; BERTRAND, N. Ammonia Volatilization and Nitrogen Retention: How Deep to Incorporate Urea?. **Journal of Environmental Quality**, v. 42, p. 1635-1642. 2013.

- RUBIO, L.M.; LUDDEN, P.W. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. Annu. **Revista de Microbiologia**. v. 62, p. 93-111. 2008.
- SAPUCAY, M. J. L. C.; VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; JÚNIOR, T. J. P.; LIMA, M. S.; VIEIRA, R. F.; VIDIGAL, S. M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen? **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 11, p. 1644-1653. 2016.
- SCHWARZ, G.; MENDEL, R. R.; RIBBE, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. **Nature**, v. 13; p. 460 (7257): 839-47. 2009.
- SILVA, H. A. P. da; GALISA, P. de S.; OLIVEIRA, R. S. da S.; VIDAL, M. S.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L. Expressão gênica induzida por estresses abióticos em nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.797-807. 2012.
- 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.
- SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulturae, The Hague**, n. 752, p. 69-76. 2007.
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 848p. 2009.
- 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.
- TEIXEIRA, E. I.; JOHNSTONE, P.; CHAKWIZIRA, E.; RUITER, J. de; MALCOLM, B.; SHAW, N.; ZYSKOWSKI, R.; KHAEMBAH, E.; SHARP, J.; MEENKEN, E.; FRASER, P.; THOMAS, S.; BROWN, H.; CURTIN, D. Sources of variability in the effectiveness of winter cover crops for mitigating N leaching. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 220, p. 226-235. 2016.
- TISDALE, S.M.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York, Macmillan Publishing Company, 634 p. 1993.
- VIEIRA, R.F.; PAULA JÚNIOR, T.J. DE; PRADO, A.L. DO; ARAÚJO, R.F.; LEHNER, M. DA S.; SILVA, R.A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. **Revista Ceres**, v.62, n.4, p.415-419, 2015.
- VIEIRA, R.F.; PAULA JÚNIOR, T.J. DE; CARNEIRO, J.E. DE S.; QUEIROZ, M.V. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.205-213, 2014.

VIEIRA, R. F.; 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, n. 2, p. 163-169. 2011a

VIEIRA, R. F.; PAULA JR. T. J.; PIRES, A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; ROCHA, G. S. DA. Common Bean Seed Complements Molybdenum Uptake by Plants from Soil. **Agronomy Journal**, v. 103. 2011b

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. B. Performance of Common Bean Using Seeds Harvested from Plants Fertilized with High Rates of Molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 363-377. 2005.

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, n. 02, p. 572-575. 2007.

CAPÍTULO II

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

EFEITO DO USO DE SEMENTE RICA EM MOLIBDÊNIO NO DESEMPENHO DO FEIJÃO-CAUPI EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL DO MARANHÃO

RESUMO: Uma das razões da baixa produtividade do feijão-caupi é a deficiência de N nos solos. Nossa hipótese é que com o uso de sementes de feijão-caupi ricas em Mo dispense o uso da adubação nitrogenada em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Objetivou-se avaliar os efeitos dos conteúdos de Mo da semente na nutrição nitrogenada e produtividade de grãos do feijão-caupi em solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão. As sementes da cultivar Guariba com três conteúdos de Mo foram produzidas em Coimbra, MG. Com as sementes da primeira colheita do feijão-caupi da cultivar Guariba foi instalado um experimento no esquema fatorial 3 x 2: conteúdos de Mo da semente ($0,014 \pm 0,005$; $0,674 \pm 0,151$ e $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g Mo semente}^{-1}$) e dose de N (0 e 60 kg ha^{-1}). Metade da dose de 60 kg ha^{-1} foi aplicada no sulco de plantio e a outra metade foi aplicada em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). Plantas foram irrigadas por gotejamento para complementar as chuvas. A dose de N não influenciou a nutrição nitrogenada e a produtividade de grãos do feijão-caupi. As médias do teor de N na folha, da leitura do SPAD e da produtividade de grãos nas plantas provenientes de sementes com $1,987 \pm 0,278$ de Mo foram, respectivamente, 13%, 9% e 69% maiores que as das plantas originadas de semente com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005$. Nossos resultados sugerem que semente rica em Mo aumentam a nutrição nitrogenada e a produtividade de grãos do feijão-caupi em solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão e dispensa a adubação nitrogenada.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, micronutriente, semente enriquecida com molibdênio.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido por feijão macassar ou feijão-de-corda, é uma leguminosa de grande importância socioeconômica no Norte e Nordeste, onde constitui um dos componentes da dieta alimentar (Teófilo et al., 2008). Nessas regiões, a cultura apresenta baixa produtividade (média de 500 kg ha⁻¹), o que é atribuído, entre outros fatores, à baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente do nitrogênio (N) (Xavier et al., 2007). O N é componente exigido em maior quantidade, uma vez que é um constituinte importante na regulação do crescimento e desenvolvimento de muitas plantas (Graham et al., 2000; Ciampitti e Vyn, 2011; Barbosa et al., 2018).

Devido à importância socioeconômica do feijão-caupi para essas regiões brasileiras e a baixa produtividade dessa cultura, estudos têm sido realizados com o objetivo de reduzir o fornecimento de N às plantas. Uma das alternativas é o enriquecimento de sementes com molibdênio (Mo). Essa tecnologia tem baixo custo e não foi estudada com o feijão-caupi em solos coesos de baixa fertilidade do Maranhão. O Mo é componente principal da nitrogenase, enzima relacionada à redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) pelas leguminosas, e da nitrato redutase, pois é responsável pela redução do nitrato (N-NO₃) a nitrito (N-NO₂) (Schwarz et al., 2009; Kaiser et al., 2005). Essa última enzima é responsável pelo aproveitamento do N-NO₃ absorvido durante o processo de assimilação do N pelas plantas. Estudos realizados em solos da Zona da Mata de Minas Gerais deficientes em Mo, e especialmente nos solos ácidos, indicam que a adubação com adubo molíbdico pode trazer aumentos expressivos de produtividade (Pessoa et al., 2000; Vieira et al., 2005; Sapucay et al., 2016).

O Mo pode ser fornecido às plantas pela pulverização da folhagem (Berger et al., 1996; Vieira et al., 2005; Araújo et al., 2009; Vieira et al., 2015), tratamento de sementes por imersão em solução aquosa (Lutts et al., 2016, Majda et al., 2019) ou sementes enriquecidas em Mo (Vieira et al., 2005, 2011). Uma forma de aumentar a produtividade de grãos é o uso da pulverização das folhas com Mo. Estudos realizados por Sapucay et al. (2016) relataram que é possível alcançar produtividades de grãos do feijoeiro de 3000 kg ha⁻¹ com adubação molíbdica foliar e sem adubação nitrogenada em cobertura em solos pobres em Mo e com rizóbios nativos. A adubação foliar com Mo aumenta o teor de Mo nas sementes do feijoeiro. Por isso, uma possível solução para difundir o uso do Mo para o agricultor é fornecer semente com alto conteúdo de Mo, que proporciona o mesmo efeito do Mo aplicado na folhagem (Vieira et al. 2005; Vieira et al. 2011; Pacheco et al. 2012;

Vieira et al. 2014; Vieira et al. 2015). Esses autores 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, pois é uma tecnologia que independe de ser conhecida, ou não e de o adubo estar disponível ou não no comércio local. Essa prática de enriquecimento da semente com Mo tem estas vantagens: aumenta a eficiência de uso do micronutriente pela planta e pode ser utilizado por todos os agricultores, independentemente de seu nível escolar (Vieira et al., 2015).

Não há na literatura informação sobre a eficácia do uso de sementes ricas em Mo no desempenho do feijão-caupi em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Nossa hipótese é que com o uso de sementes de feijão-caupi ricas em Mo dispense o uso da adubação nitrogenada em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Portanto, nosso objetivo foi estudar o efeito dos conteúdos de Mo da semente na nutrição nitrogenada e produtividade de grãos do feijão-caupi em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes da cultivar Guariba de feijão-caupi com três conteúdos de Mo foram produzidas na Zona da Mata de Minas Gerais, em Coimbra, MG (Sodré, 2018). O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís (2°30'S, 44°18'W, altitude de 24 m) entre maio e agosto de 2018. 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 = 4,5; matéria orgânica = 11 g dm⁻³; P = 2 mg dm⁻³; K = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca = 14 mmol_c dm⁻³; Mg = 9 mmol_c dm⁻³; H + Al³⁺ = 21 mmol_c dm⁻³; soma de base = 23,5 cmol_c dm⁻³; CTC = 44,5 cmol_c dm⁻³; V = 52,8%; areia grossa = 410 g kg⁻¹; areia fina = 450 g kg⁻¹; e silte = 40 g kg⁻¹.

Tratamentos e Delineamento experimental

Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 3 x 2: conteúdos de Mo da semente ($0,014 \pm 0,005$; $0,674 \pm 0,151$ e $1,987 \pm 0,278$ $\mu\text{g Mo semente}^{-1}$) e doses de N (0 e 60 kg ha^{-1}). Metade da dose de 60 kg ha^{-1} foi aplicada no plantio e a outra metade em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da planta. Em seguida, esse sulco foi coberto com uma camada de terra para minimizar a volatilização. A fonte de N foi ureia (45% de N). O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m, espaçadas de 0,60 m. Foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco.

Instalação e condução do experimento

O preparo da área foi realizado sem aração e gradagem. A vegetação espontânea foi roçada e toda a palhada foi deixada sobre a superfície do solo, conforme fazem os agricultores da região. O solo não recebeu nenhum preparo mecânico para a semeadura e não foi feita adubação química no plantio. As plantas foram irrigadas por gotejamento com lâmina de água de 6 mm para complementar as chuvas. O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual, quando necessário. O produto Bioneem utilizado para o controle do pulgão (*Aphis craccivora*) apresenta 90% de óleo de neem (*Azadirachta indica*), 5% de sinergista e 5% de emulsionante. Aos 40 DAE foi aplicado o Bioneem (312,5 mL ha^{-1}) juntamente com o espalhante adesivo (Nonifenol etoxilado - 12,5 g ha^{-1}) para facilitar a aderência. Foi utilizado o volume de calda de 250 L ha^{-1} .

Características avaliadas

Na fase R2 (início da floração) foram feitas as leituras com clorofilômetro (Minolta SPAD 502) e determinação do teor de N nas folhas. Foram realizadas 30 leituras com o clorofilômetro em 10 folhas jovens plenamente expandidas (uma leitura em cada folíolo) 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 dos 30 folíolos representou a média da parcela.

As 10 folhas 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 sulfúrica, o teor de N nas folhas foi determinado pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al. 1995). Também foi avaliada a altura

da cobertura foliar em quatro plantas, medindo-se a distância entre a superfície do solo e a folha mais alta do dossel da planta. Essas plantas foram coletadas com auxílio de enxadão e, em seguida, as raízes foram separadas da parte aérea, e os nódulos destacados e contados para determinar o número de nódulos por planta. Os nódulos e a parte aérea da planta foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante, para determinar a massa dos nódulos secos e massa da planta seca.

Na colheita, foi feita a contagem de todas as plantas na área útil de 4,8 m² para determinar o estande final, e todas as vagens foram coletadas para determinar o comprimento de vagem, os componentes da produtividade (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos) e a produtividade de grãos. A produtividade de grãos e massa de 100 grãos foi padronizada para 130 g kg⁻¹ de água.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi usado $P \leq 0,25$ (Perecin e Cargnelutti, 2008) para se tomar a decisão de desdobrar a interação entre conteúdo de Mo na semente e dose de N. Foi usado $P \leq 0,05$ para testar contrastes dentro das interações desdobradas. O teste F foi usado para comparar as médias das doses de N 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

A interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N sobre o número de nódulos foi altamente significativa (Tabela 1). Quando foi aplicado N, os conteúdos de Mo da semente não influenciaram o número de nódulos (Figura 1A). No entanto, sem N, o número de nódulos no conteúdo de Mo de $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 3,5 vezes maior que o das plantas originadas de semente com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$.

A interação entre conteúdo de Mo da semente e dose N sobre a massa de nódulos secos foi significativa (Tabela 1). Quando foi aplicado N, os conteúdos de Mo da semente não influenciaram a massa dos nódulos secos (Figura 1B). Sem N, as plantas originadas de sementes com o mais alto conteúdo de Mo tiveram valor de massa dos nódulos secos 3,4 vezes mais alto que a das plantas originadas com menor conteúdo de Mo na semente.

Tabela 1 - Valor de *P* para as variáveis número de nódulos, massa dos nódulos secos, produtividade de grãos, teor de N na folha e leitura do SPAD em função dos conteúdos de Mo da semente, da dose de N e da interação entre os conteúdos de Mo da semente e dose de N. CV(%) = coeficiente de variação.

Variáveis	Conteúdo de Mo ($\mu\text{g semente}^{-1}$)	Nitrogênio (kg ha^{-1})	CMoS x N	CV (%)
Número de nódulos	0,002	<0,001	0,002	31,8
Massa dos nódulos secos	0,004	<0,001	0,018	39,0
Produtividade de grãos	0,002	<0,001	<0,001	13,3
Teor de N na folha	0,106	0,044	0,177	5,5
Leitura do SPAD	0,179	0,015	0,201	4,5

A interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N sobre a produtividade de grãos foi muito altamente significativa (Tabela 1). Essa interação foi desdobrada em razão de o valor de *P* ter sido menor que 0,25. Quando foi aplicado N, os conteúdos de Mo na semente não influenciaram a produtividade de grãos do feijão-caupi. Sem N, porém, o efeito dos conteúdos de Mo da semente sobre a produtividade de grãos foi significativo. Na ausência de N, a produtividade de grãos obtida com as plantas originadas de sementes com conteúdo de Mo de $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 69% maior que a obtida com as plantas originadas de sementes com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$ (Figura 1C).

A interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N sobre o teor de N na folha foi desdobrada em razão de o valor de *P* ter sido menor que 0,25 (Tabela 1). Com N, os conteúdos de Mo na semente não influenciaram o teor de N na folha. Quando não foi aplicado N, o efeito dos conteúdos de Mo da semente sobre o teor de N na folha foi significativo. O teor de N nas folhas das plantas originadas de sementes com conteúdo de Mo de $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ foi 13% maior que o das folhas das plantas originadas de semente com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$ (Figura 1D).

A interação entre conteúdo de Mo da semente e N sobre a leitura do SPAD foi desdobrada em razão de o valor de *P* ter sido menor que 0,25 (Tabela 1). Com N, os conteúdos de Mo na semente não influenciaram a leitura do SPAD (Figura 1E). Sem N, porém, o efeito dos conteúdos de Mo da semente sobre a leitura do SPAD foi significativo. Sem N, plantas originadas de sementes com conteúdo de Mo de $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g semente}^{-1}$ tiveram valor de leitura do SPAD 9% mais alto que o das plantas originadas de sementes com conteúdo de Mo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g semente}^{-1}$.

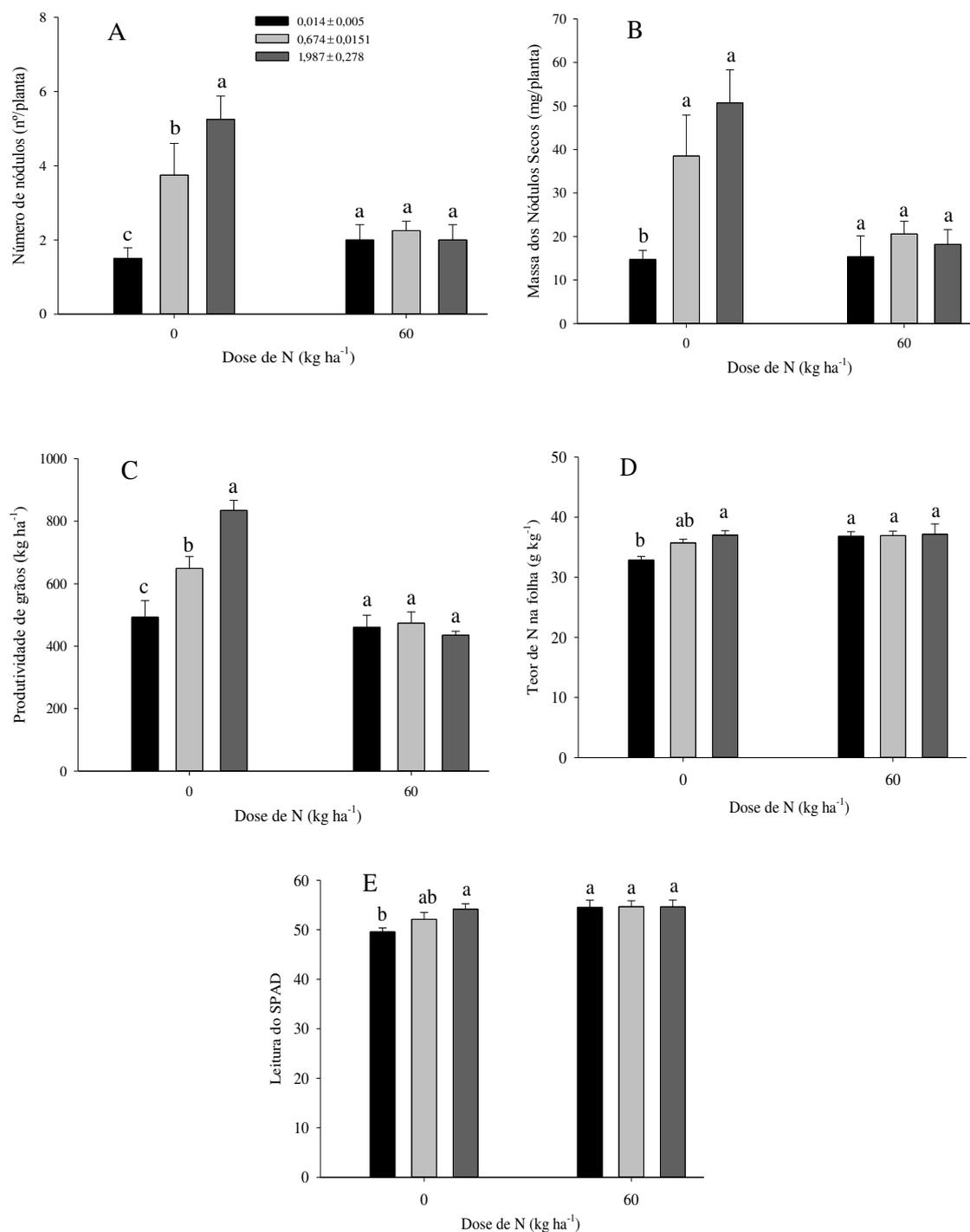


Figura 1 - Efeitos dos conteúdos de Mo da semente dentro de cada dose de N no número de nódulos (A), massa dos nódulos secos (B), produtividade de grãos (C), teor de N na folha (D) e leitura do SPAD (E). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barrinha representa o desvio-padrão.

Conteúdo de Mo da semente, dose de N e a interação entre esses fatores não influenciaram significativamente o conteúdo da massa da planta seca e à altura da cobertura foliar. O conteúdo de Mo na semente e a interação entre esses fatores não influenciaram o comprimento de vagem. No entanto, o efeito N sobre o comprimento de vagem foi altamente significativo. A média do comprimento de vagens das plantas adubadas com 60 kg ha⁻¹ de N foi 7% maior em relação à das plantas que não receberam N (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeito dos conteúdos de Mo da semente (\pm DP) e da dose de N na massa da planta seca, altura da cobertura foliar e comprimento de vagem.

Fatores	Massa da planta seca (kg ha ⁻¹)	Altura da cobertura foliar (cm)	Comprimento de vagem (cm)
Conteúdo de Mo (μ g semente ⁻¹)			
0,014 \pm 0,005	1410	41,6	18,6
0,674 \pm 0,151	1600	43,7	18,8
1,987 \pm 0,278	1717	47,2	19,4
Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
0	1491	44,8	18,3
60	1661	43,5	19,6
CV (%)	16,9	12,8	5,5
Valor de <i>P</i>			
Conteúdo de Mo (CMoS)	0,100	0,168	0,293
Nitrogênio (N)	0,138	0,584	0,008
CMoS x N	0,537	0,665	0,973

As médias referentes aos conteúdos de Mo da semente (n = 8) foram comparadas pelo teste de Duncan e as médias das doses de N (n = 12) foram comparadas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Conteúdo de Mo da semente, dose de N e a interação entre esses fatores não influenciaram a massa de 100 grãos e o número de vagens por planta (Tabela 3). O efeito das doses de N sobre o estande final foi muito altamente significativo. Os conteúdos de Mo não influenciaram o estande final dentro de cada dose de N. Quando foi aplicado N, a média do estande final foi menos da metade do estande obtido sem o uso de N.

A interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N sobre o número de grãos por vagem foi desdobrada em razão de o valor de *P* ter sido menor que 0,25 (Tabela 1). Os conteúdos de Mo não influenciaram o número de grãos por vagem dentro de cada dose de N. Com N, o número de grãos por vagem foi 46% mais alto que sem o uso de N.

Tabela 3 - Efeitos dos conteúdos de Mo da semente (\pm DP), da dose de N e da interação entre conteúdo de Mo da semente e dose de N nos componentes da produtividade do feijão-caupi.

Fatores	Estande final (plantas m ⁻²)	Massa de 100 grãos (g)	Número de vagem por planta	Número de grãos por vagem
Conteúdo de Mo (μ g semente ⁻¹)				
0,014 \pm 0,005	8,4	19,0	6,1	5,9
0,674 \pm 0,151	9,5	19,3	6,3	5,4
1,987 \pm 0,278	8,5	19,5	6,5	6,3
Doses de Nitrogênio (N)				
0	12,2	19,2	6,1	4,6
60 kg ha ⁻¹	5,4	19,3	6,6	7,1
CV (%)	18,8	3,9	23,2	19,4
Conteúdo de Mo (CMoS)	0,330	0,382	0,862	0,278
Nitrogênio (N)	< 0,001	0,431	0,462	<0,001
CMoS x N	0,801	0,815	0,711	0,061

As médias referentes aos conteúdos de Mo da semente (n = 8) foram comparadas pelo teste de Duncan e as médias das doses de N (n = 12) foram comparadas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

DISCUSSÃO

Nossa hipótese foi que o uso de sementes de feijão-caupi ricas em Mo dispensa a adubação nitrogenada em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Essa hipótese teve o suporte dos resultados referentes à nutrição nitrogenada e à produtividade de grãos obtida na ausência da adubação nitrogenada. Embora não tenha havido efeito significativo do conteúdo de Mo na semente e da interação entre conteúdo de Mo na semente e doses de N nos componentes da produtividade, os valores absolutos das médias individuais de massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem, considerados em conjunto, indicam maior produtividade das plantas do feijão-caupi originadas das sementes com maior conteúdo de Mo da semente.

Pesquisas com sementes enriquecidas com Mo para aumentar o rendimento de grãos em feijoeiro já foram demonstradas por Brodick et al. (1995), Pacheco et al. (2012) e Vieira et al. (2005). No entanto, esta foi a primeira pesquisa que avaliou o uso de sementes enriquecidas com Mo sobre o desempenho do feijão-caupi em solos coesos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Nessa região do Maranhão, a prática de enriquecimento de sementes não é conhecida, e acreditamos que, se essas sementes forem produzidas e entregues aos produtores familiares, poderá beneficiá-los, pois a maioria dos agricultores não usa adubo nitrogenado. Sodré (2018) ao estudar sementes de feijão-caupi com alto

conteúdo de Mo inoculadas com rizóbio, verificou o aumento da produção de grãos de 42% independente ou não do uso de inoculante na região da Amazônia Oriental do Maranhão.

Os conteúdos de Mo na semente não influenciaram a produtividade de grãos quando se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N, pois o fornecimento de N para as plantas pela adubação deve ter anulado um das principais funções do Mo, que é nutrir a planta em N, como verificado por Vieira et al. (2005) com o feijão-comum. O presente estudo sugere que sementes enriquecidas com alto conteúdo de Mo dispensam o uso do adubo nitrogenado, porque aumenta a assimilação do N atmosférico e melhora o aproveitamento do N absorvido na forma de NO₃ (Vieira et al., 1998).

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.

Na ausência de N, plantas originadas de sementes com alto conteúdo de Mo da semente produziram 3,5 vezes mais nódulos e 3,4 vezes mais massa de nódulos em relação às plantas originadas de sementes pobres em Mo. Apesar da baixa nodulação, o Mo presente na semente foi capaz de suprir as plantas em N (aumento do teor de N na folha e da leitura do SPAD), provavelmente também com o aumento da eficiência da enzima nitrato redutase. Em estudos com feijão-comum conduzidos em Coimbra, MG, houve aumento de 11% da leitura do SPAD (de 35 para 39) em razão do aumento do conteúdo de Mo da semente de 0,007 para 6,961 µg de Mo semente⁻¹ (Vieira et al., 2011). O alto conteúdo de Mo da semente também incrementou em 13% (de 32,9 para 37,0 g kg⁻¹) (Vieira et al., 2011) ou de 29,2 para 35,0 g kg (Vieira et al., 2005) o teor de N na folha.

Estudos futuros devem ser feitos em áreas de agricultores e em diferentes solos e locais para confirmar os resultados desse estudo.

CONCLUSÃO

Sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de Mo aumenta a produtividade de grãos do feijão-caupi quando não se usa adubação nitrogenada nos solos coesos com baixa fertilidade natural do Maranhão. Pesquisas futuras nessa região são necessários para estudar essa tecnologia em diferentes condições edafoclimáticas do Maranhão para se ter melhor ideia da abrangência dos benefícios que o uso de sementes de feijão-caupi ricas em Mo pode trazer para os agricultores do estado.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), 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 BIBLIOGRÁFICAS

- Amane, MIV, Vieira, C, Cardoso, AA, Araújo, GAA. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molíbdica. Rev Ceres.1994;41:202-216.
- Araújo, PRA, Araújo, GAA, Rocha, RR, Carneiro, JES. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro comum. Acta Sci-Agron. 2009;31:227-234.
- Barbosa, N, Portilla, E, Buendia, HF, Raatz, B, Beebe, S, Rao, I. Genotypic differences in symbiotic nitrogen fixation ability and seed yield of climbing bean. Plant Soil. 2018;428:223-239.
- Berger, PG, Vieira, C, Araújo, GAA. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. Pesqui Agropecu Bras. 1996;31:473-490.
- Brodrick, SJ, Amjee, F, Kipe-Nolt, JA, Giller, KE. Seed analysis as a mean of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. Trop Agr. 1995;72:277-284.
- Calonego, JC, Junior, EUR, Barbosa, RD, Leite, GHP, Filho, HG. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. Rev Cienc Agro. 2010;41:334-340.
- Ciampitti, IA, Vyn, TJ. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crop Res. 2011;121:2-18.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro. 2013;412.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2. 2013.
- Graham, PH, Vance, CP. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. Field Crop Res. 2000;65:93-106.
- Kaiser, BN, Gridley, KL, Brady, JN, Phillips, T, Tyerman, SD. The role of molybdenum in agricultural plant production. Ann Bot-Oxford. 2005;96:745-754.

- 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, GAA, Miranda, GV, Vieira, RF, Carneiro, JES, 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.
- Lutts, S, Benincasa, P, Wojtyla, L, Kubala, S, Pace, R, Lechowska, K, Quinet, M, Garnczarska, M. Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. 2016.
- Majda, C, Khalid, D, Aziz, A, Rachid, B, Badr, A, Lotfi, A, Mohamed, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **SCI TOTAL ENVIRON.** 2019;661:654-663.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. New York: Academic Press; 1995.
- 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.
- 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.
- Perecin, D, Filho, AC. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Cienc Agrotec.* 2008;32:68-72.
- 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. *Cienc Agrotec.* 2004;28:1092-1098.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. <https://www.R-project.org/>.
- Sapucay, MJLC, Vieira, RF, Carneiro, JES, Júnior, TJP, Lima, MS, Vieira, RF, 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.
- Schwarz, G, Mendel, RR. Molybdenum Cofactor Biosynthesis and Molybdenum Enzymes. *Annu. Rev Plant Biol.* 2006;57:623-647.
- Sodré, DN. Semente de feijão-caupi com alto conteúdo de molibdênio originam plantas mais produtivas em solos com baixa fertilidade natural na amazônia oriental [Dissertação]. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão; 2018.
- Tedesco, MJ, Gianello, C, Bissani, CA, Bohnen, H, Volkweiss, SJ. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS. 1995.

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

Tisdale, SM, Nelson, WL, Beaton, JD, Havlin, JL. *Soil fertility and fertilizers.* 5.ed. New York, Macmillan Publishing Company.1993:634.

Vieira, RF, Paula Júnior, TJ de, Prado, AL do, Araújo, RF, Lehner, M da S, Silva, RA. A 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 Júnior, TJ de, Carneiro, JE de S, Queiroz, MV. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Rev Bras Cienc Solo.* 2014;38:205-213.

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

Vieira, RF, Salgado, LT, Ferreira, ACB. Performance of Common Bean Using Seeds Harvested from Plants Fertilized with High Rates of Molybdenum. *J Plant Nutr.* 2005;28:363-377.

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

Xavier, TF, Araújo, ASF, Santos, VB, Campos, FL. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. *Cienc Rural.* 2007;37:572-575.

ANEXO

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 verificada

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 diffracton 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.