

Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio¹

Nodulation and grain yield of cowpea in response to molybdenum

Luiz Fernando Carvalho Leite², Ademir Sérgio Ferreira de Araújo^{3*}, Claudyane do Nascimento Costa⁴ e Alessandra Maria Braga Ribeiro⁵

Resumo - A aplicação de micronutrientes como o molibdênio (Mo) pode ser importante para incrementar a fixação biológica do N₂ e a produtividade do feijão-caupi. O presente trabalho objetivou avaliar, em condições de campo, o efeito da aplicação de Mo sobre a nodulação, crescimento e produtividade de feijão-caupi (cultivar BRS Guariba) em um Neossolo Flúvico de Teresina-PI. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos ao acaso com cinco doses de Mo, na forma de FTE (0; 30; 60; 90 e 120 g ha⁻¹ de Mo). A inoculação foi realizada utilizando-se a estirpe de *Bradyrhizobium elkanii*, BR 3262. Foram determinados, aos 36 dias após a emergência (DAE), o número e massa seca dos nódulos, as massas secas da parte aérea e raiz e acúmulo de N na parte aérea. A produtividade de grãos foi determinada aos 58 DAE. Não se verificou diferença entre os tratamentos para massa seca da parte aérea e raízes. O acúmulo de N na parte aérea (ANPA) e a produtividade de grãos foram maiores nos tratamentos com aplicação de Mo. A inoculação das sementes associada à aplicação de Mo favorece a nodulação e o acúmulo de N pelo feijão-caupi, aumentando a produtividade de grãos.

Palavras-chave - *Bradyrhizobium elkanii*. Feijão-de-corda. *Vigna unguiculata*.

Abstract - The application of micronutrient, such as molybdenum (Mo), can be important to increment biological N₂ fixation and yield of cowpea. This work aimed to evaluate, in field conditions, the effect of Mo application on nodulation, plant growth and yield in cowpea (BRS Guariba) at Teresina, PI. The treatments were disposed in a completely randomized block with five rates of Mo, in FTE form (0; 30; 60; 90 e 120 g ha⁻¹ de Mo). The inoculation was conducted using *Bradyrhizobium elkanii*, strain BR 3262. Number of nodule, nodule dry weight, shoot and root dry weight and N content in the shoot's dry matter were determined 36 days after plant emergence (DAE). Grain yield was determined 58 DAE. Differences were not verified among the treatments to root and shoot dry weight. N content in the shoot's dry matter and grain yield were higher with Mo application. The inoculation of seeds associated with Mo favor the nodulation and N content increasing grain yield in cowpea.

Key words - *Bradyrhizobium elkanii*. Legumes. *Vigna unguiculata*.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 07/05/2009; aprovado em 04/11/2009

Pesquisa financiada pelo Banco do Nordeste

²Pesquisador em manejo de solo da Embrapa Meio Norte, Av. Duque de Caxias, Teresina-PI, Brasil, 64000-000

³Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Brasil, 64049-550, asfaruaj@yahoo.com.br

⁴Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Brasil

⁵Bióloga, bolsista em microbiologia do solo da Embrapa Meio Norte, Teresina-PI, Brasil

Introdução

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido por feijão macassar ou feijão-de-corda, é uma leguminosa de grande importância socioeconômica, principalmente para as regiões Norte e Nordeste, onde constitui um dos componentes da dieta alimentar (TEÓFILO et al., 2008). Nestas regiões, a cultura apresenta baixa produtividade média (300 kg ha^{-1}), o que é atribuído, entre outros fatores, à baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente, o N (XAVIER et al., 2007).

O N é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelo feijão-caupi, que absorve, para seu desenvolvimento completo, uma quantidade superior a 100 kg ha^{-1} N (FREIRE FILHO et al., 2005). A adubação mineral é uma das formas de entrada de N no solo e de elevar a disponibilidade às plantas. No entanto, a aplicação de N mineral nos solos tropicais pode apresentar, às vezes, baixa frequência de resposta, devido às perdas de N por lixiviação e volatilização (SORATTO et al., 2003).

Por outro lado, o feijão-caupi possui a capacidade de, em simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, realizar o processo de fixação biológica do N_2 (FBN). A FBN é reconhecidamente eficiente em feijão-caupi que, quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade (RUMJANEK et al., 2005). Entretanto, a nodulação e a FBN são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes no solo que podem beneficiar ou prejudicar o processo. Dentre estes nutrientes, destaca-se o molibdênio (Mo), considerado elemento-chave do centro ativo da nitrogenase, enzima responsável pela fixação biológica de nitrogênio (MENGEL; KIRKBY, 2001). Além disso, atua na redutase do nitrato uma enzima responsável pela redução do NO_3 para ser assimilado pela planta (DECHEN et al., 1991). Desta forma, no caso de leguminosas, o Mo é necessário para a manutenção da atividade de duas enzimas relacionadas ao aproveitamento do N, podendo, portanto, promover maior acúmulo de N nas plantas.

Vários trabalhos demonstraram os efeitos positivos da aplicação de Mo sobre o crescimento, nodulação, fixação de N_2 e produtividade em soja (ALBINO et al., 2001; GRIS et al., 2005), amendoim (CAÍRES; ROSOLEM, 2000; QUAGGIO et al., 2004) e feijão-comum (KUSDRA, 2003). Entretanto, são escassos os trabalhos reportando os efeitos deste micronutriente sobre o feijão-caupi, principalmente, em solos da região Meio-Norte. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar, em condições de campo, o efeito da aplicação de Mo sobre a nodulação, crescimento e produtividade de feijão-caupi (cultivar BRS Guariba) em um Neossolo Flúvico de Teresina-PI.

Material e métodos

O experimento foi instalado na Embrapa Meio-Norte, localizada em Teresina, PI ($05^{\circ}05'S$ e $42^{\circ}48'W$ e altitude de 74,4 m), de setembro a dezembro de 2006. O clima caracteriza-se por apresentar temperatura média de $27,9^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar média de 69,2% e precipitação média anual de 1300 mm (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2000). O solo da área é classificado como Neossolo Flúvico, textura franco argilo arenoso (EMBRAPA, 1999), com as seguintes características químicas (camada 0-20 cm): M.O: $15,51 \text{ g kg}^{-1}$; pH em água: 5,45; P (Mehlich): $37,38 \text{ mg dm}^{-3}$; K (Mehlich): $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca: $2,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $1,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Na: $0,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $2,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTC: $7,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O preparo do solo foi constituído por uma aração e duas gradagens leves, sendo a primeira logo após a aração e a segunda um dia antes da semeadura. Em seguida, o solo recebeu adubação mineral (aplicada de forma localizada a 5 cm ao lado e abaixo das sementes) com P e K, utilizando-se 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples, e 60 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio.

As sementes de feijão-caupi (BRS Guariba) foram inoculadas com inoculante turfoso (concentração de 10^9 células g^{-1} , conforme o fabricante), o qual continha a estirpe BR 3262 de *Bradyrhizobium elkanii*. A dosagem utilizada foi de 500 g de inoculante para 50 kg de sementes e a inoculação foi realizada com o umedecimento prévio das sementes com uma solução açucarada (10% p v^{-1}) na proporção de 6 mL kg^{-1} de semente (HUNGRIA et al., 2001). Os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, com cinco doses de Mo, na forma de FTE (0; 30; 60; 90 e 120 g ha^{-1} de Mo).

A parcela experimental correspondeu a 15 m^2 , com quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, tendo como área útil as duas fileiras centrais. A semeadura ocorreu logo após a inoculação das sementes, colocando-se quatro sementes por cova e semeada no espaçamento de $0,75 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, sendo conduzida sob irrigação por aspersão com um turno de rega de 3 dias e uma lâmina média de 18 mm.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas capinas com auxílio de enxadas, procurando-se manter a cultura livre de plantas invasoras e tratos fitossanitários (4 aplicações de 200 g/ha de Actara®), visando ao controle de pragas (pulgões, cigarrinhas e vaquinhas) que ocorrem na cultura do feijão-caupi na região.

A coleta dos dados de nodulação foi realizada aos 36 dias após a emergência, correspondente ao estágio R1

(XAVIER et al., 2007), para a cultivar BRS-Guaribas. Para a determinação da nodulação foram escolhidas, ao acaso, quatro plantas na área útil de cada parcela. As plantas foram retiradas cuidadosamente do solo (com auxílio de enxada), cortadas na base do caule, separando-se a parte aérea das raízes. Os nódulos foram destacados, contados e colocados para secar em estufa a 65 °C por 72 horas, sendo, em seguida, determinada sua massa. Para determinação da produção de matéria seca, o material vegetal foi colocado em estufa com circulação forçada de ar à 65-70 °C até atingir massa constante. O N total foi determinado pelo método semi-microkjeldahl (SILVA, 1981) e utilizado para se calcular o N acumulado na parte aérea (ANPA). O ANPA foi calculado multiplicando-se sua massa pelo teor de N. A partir dos dados obtidos, foram calculadas as relações entre o N acumulado e as massas das raízes (ANPA/MRS) e dos nódulos (ANPA/MNS) (SILVA et al., 2007). Ao final do experimento, aos 65 dias após a emergência, foi avaliada a produção de grãos mediante a colheita em 4 m² da área útil de cada parcela, com o resultado em t ha⁻¹ de grãos a 13% de umidade.

Os dados avaliados para os diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância e regressão. Os dados foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

O número e a massa nódulos são indicadores usuais de nodulação (FERREIRA; CASTRO, 1995). A análise de variância mostrou que não houve diferenças significativas para a massa e o número de nódulos com a aplicação de Mo (Figura 1A e 1B), indicando que, nas condições deste experimento, este micronutriente não influenciou na nodulação em feijão-caupi. Resultados semelhantes foram observados por Marcondes e Caires (2005), em amendoim, e Albino e Campo (2001), em soja.

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) para doses de Mo e para o modelo quadrático de ajuste de regressão para todas as relações entre o N acumulado e as massas das raízes (ANPA/MRS) e dos nódulos (ANPA/MNS). Para a relação ANPA/MRS, a função ajustada teve valor máximo de 0,9 % N g⁻¹ raiz na dose estimada de 55 g ha⁻¹ de Mo (Figura 1C). Para a relação ANPA/MNS, o valor máximo estimado foi de 0,21 % N g⁻¹ nódulo na dose estimada de 60 g ha⁻¹ de Mo (Figura 1D). Isto pode indicar um efeito positivo do Mo sobre a fixação de N₂ em feijão-caupi, uma vez que houve mais N acumulado por massa de raiz e de nódulos, ou seja, maior eficiência radicular e nodular na absorção de N. Estes resultados evidenciam a atuação do Mo no processo de FBN, participando ativamente como

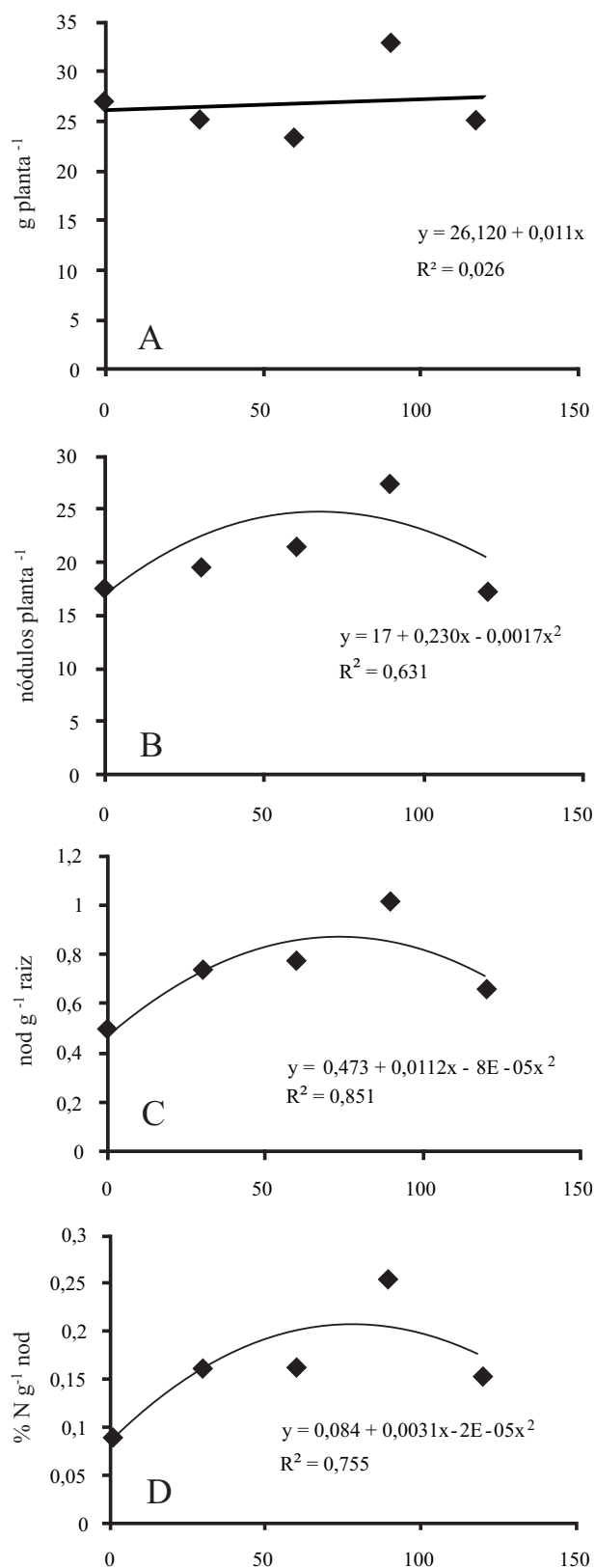


Figura 1 - Efeito de doses de molibdênio na massa dos nódulos secos (a), número de nódulos (b), relações ANPA/MRS (c) e ANPA/MNS (d) em plantas de feijão-caupi

cofator integrante da enzima nitrogenase, que catalisa a redução do N_2 no bacterióide (SALISBURY; ROSS, 1991), e sugerem que o elemento pode melhorar a eficiência da FBN em feijão-caupi. Maior acúmulo de N no feijoeiro está associado a taxas elevadas da atividade da nitrogenase e, conseqüentemente, à maior eficiência da FBN, conforme reportado por Hungria e Neves (1986).

Não houve efeito significativo das doses de Mo sobre a massa das raízes (Figura 2B). Por outro lado, a massa da parte aérea, acúmulo de N e produtividade de grãos mostraram respostas significativas ($P < 0,05$) às doses de Mo, com modelo quadrático de ajuste de regressão. As funções ajustadas para a massa da parte aérea (Figura 2A) e acúmulo de N (Figura 2C) revelaram que os valores máximos estimados foram de 34 g planta^{-1} e $3,5\% \text{ N}$ nas doses estimadas de 61 e $76,5 \text{ g ha}^{-1}$ de Mo, respectivamente. Este fornecimento de N para a parte aérea do feijão-caupi se deu, provavelmente, pelo aumento na eficiência da FBN proporcionado pelo Mo, uma vez que não houve diferenças no número e na massa dos nódulos entre os tratamentos. Resultados similares foram observados por Quaggio et al. (2004), em amendoim, que observaram aumento na FBN e acúmulo de N foliar com a aplicação de Mo. Outros trabalhos mostraram efeitos positivos da aplicação de Mo na FBN em soja (CAMPO; LANTMANN, 1998; MAIER;

GRAHAM, 1990) e feijão comum (KUSDRA, 2003). Além disso, não foi realizada adubação nitrogenada no plantio e a contribuição estimada do N proveniente da mineralização da matéria orgânica é insignificante devido ao curto período do experimento.

Este maior acúmulo de N na parte aérea, devido ao aumento na eficiência da FBN proporcionado pelo Mo, influenciou o acúmulo de biomassa vegetal do feijão-caupi. Para Epstein e Bloom (2006), o nutriente mais diretamente relacionado ao aumento da biomassa vegetal é o N, desta forma, uma FBN eficiente disponibiliza mais N para as plantas aumentando a biomassa vegetal, conforme observado por Souza et al. (2008), para soja, e Xavier et al. (2008), para feijão-caupi.

O valor máximo estimado para a produtividade de grãos foi de 799 kg ha^{-1} na dose estimada de 63 g ha^{-1} de Mo (Figura 2D). Isto indica que a inoculação associada com aplicação de Mo favoreceu o aumento da produção de grãos em feijão-caupi. A produtividade alcançada, neste trabalho, é superior a média da região para feijão-caupi (300 kg ha^{-1}), reforçando a importância da inoculação associada à adubação com Mo para obtenção de maiores produtividades. Este

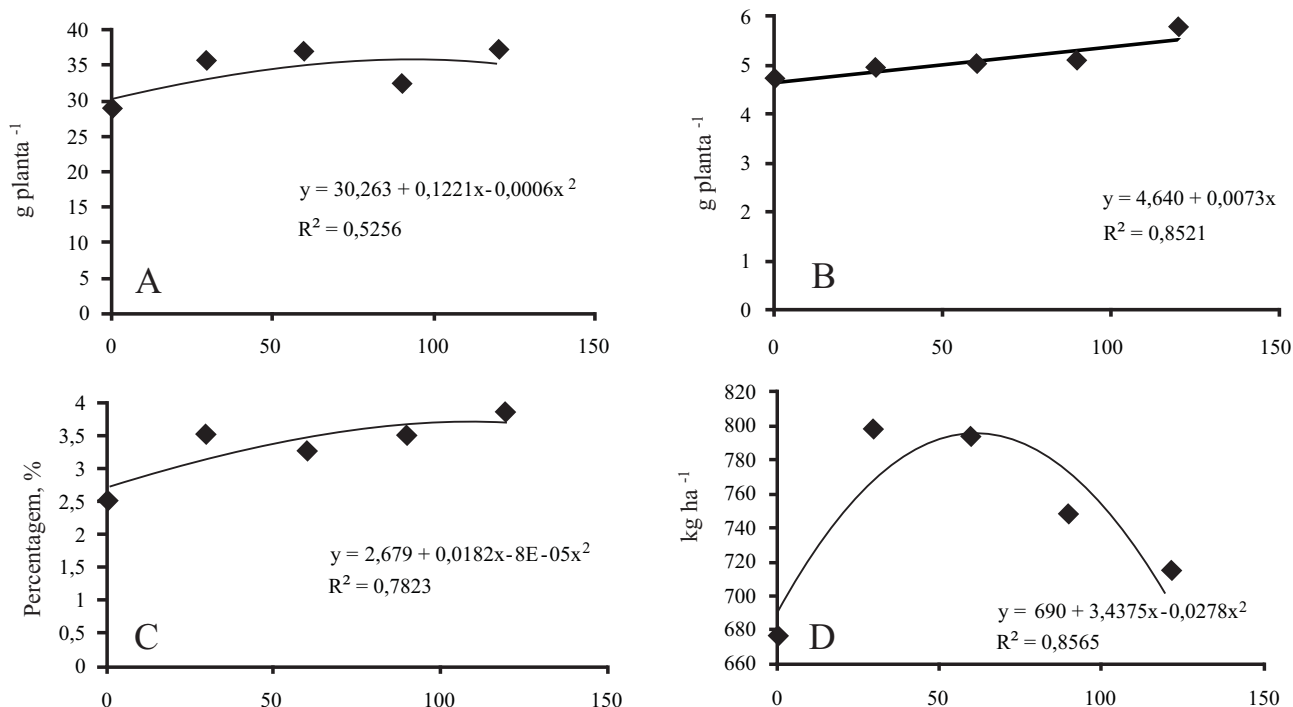


Figura 2 - Efeito de doses de molibdênio na massa da parte aérea seca (a) e das raízes (b), acúmulo de N na parte aérea (c) e produtividade de grãos (d) de feijão-caupi

aumento na produtividade é consequência do maior acúmulo de N na parte aérea e maior eficiência dos nódulos na fixação de N, avaliado pela relação ANPA/MNS. Estes resultados concordam com Oliveira et al. (1996) que observaram, após aplicação de Mo em plantas de feijão-comum inoculadas, maior teor de N nas folhas e maior produção de grãos.

Conclusões

1. Neste estudo, o Mo não apresentou influência no número e massa de nódulos em feijão-caupi.
2. A inoculação das sementes associada à aplicação de Mo favoreceu o aumento na eficiência dos nódulos, acúmulo de N e a produtividade de grãos do feijão-caupi.
3. A dose estimada máxima de Mo a ser aplicada com a inoculação foi de 60 g por hectare.

Agradecimentos

Ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB), pelo apoio financeiro a este trabalho. Ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida a Luiz F. C. Leite e Ademir S. F. Araújo.

Referências

- ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência de *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 03, p. 527-534, 2001.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Dados agrometeorológicos para o município de Teresina, PI (1980-1999)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 27 p.
- CAÍRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Nodulação e absorção de nitrogênio pelo amendoim em resposta à calagem, cobalto e molibdênio. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 02, p. 337-341, 2000.
- CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.8, p.1245- 1253, 1998.
- DECHEN, A. R. *et al.* Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafós, 1991. p. 79-111.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição e crescimento. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Londrina: Planta, 2006. p. 251-286.
- FERREIRA, E. M.; CASTRO, I. V. Nodulation and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) in soils previously treated with sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1177-1183, 1995.
- FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A., RIBEIRO, V.Q., **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.
- GRIS, E. P. *et al.* Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 151-155, 2005.
- HUNGRIA, M. *et al.* **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p.
- HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P. Ontogenia da fixação biológica do nitrogênio em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 07, p. 715-730, 1986.
- KUSDRA, J. F. Nodulação do feijoeiro e fixação biológica do nitrogênio em resposta à microbiolização das sementes e à aplicação de micronutrientes. **Scientia Agraria**, v. 04, n. 01-02, p. 81-96, 2003.
- MARCONDES, J. A. P.; CAÍRES, E. F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja. **Bragantia**, v. 64, n. 04, p. 687-694, 2005.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MAIER, R.J.; GRAHAM, L. Mutant strain of *Bradyrhizobium japonicum* with increased symbiotic N₂ fixation rates and altered Mo metabolism properties. **Applied and Environmental Microbiology**, v.56, n.8, p.2341-2346, 1990.
- OLIVEIRA, I. P. *et al.* Nutrição mineral e fixação biológica do nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.169-216.
- QUAGGIO, J. A. *et al.* Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 04, p. 659-664, 2004.
- RUMJANEK, N. G. *et al.* Fixação biológica do nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2005. p. 281-335.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. Belmont, Wadsworth: Publishing Company, 1991. 682 p.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos, métodos químicos e biológicos**. Viçosa-MG: UFV, 1981. 166 p.

SILVA, V. N. *et al.* Estirpes de *Paenibacillus* promotoras de nodulação específica na simbiose *Bradyrhizobium-caupi*. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, n. 03, p. 331-338, 2007.

SORATTO, R. P. *et al.* Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 25, n. 01, p. 89-96, 2003.

SOUZA, R. A. *et al.* Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 01, p. 83-91, 2008.

TEÓFILO *et al.* Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 03, p. 443-448, 2008.

XAVIER, T. F. *et al.* Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. *Ciência Rural*, v. 37, n. 02, p. 572-575, 2007.

XAVIER, T. F. *et al.* Influência da inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e produtividade de grãos de feijão-caupi. *Ciência Rural*, v. 38, n. 07, p. 25-32, 2008.