

FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂ EM FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES DOSES E FONTES DE FÓSFORO SOLÚVEL

BIOLOGICAL N₂ FIXATION IN COWPEA UNDER DIFFERENT RATES AND SOURCES OF SOLUBLE PHOSPHORUS

Elzane Freitas Leite SILVA¹; Ademir Sérgio Ferreira de ARAÚJO²;
Valdinar Bezerra dos SANTOS³; Luís Alfredo Pinheiro Leal NUNES²;
Romero Francisco Vieira CARNEIRO⁴

1. Graduando em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Teresina, PI;
2. Professor, Doutor, CCA - UFPI. asfaruaj@yahoo.com.br; 3. Professor, Mestre, Universidade Estadual do Piauí, Parnaíba, PI.
4. Professor, Doutor, Campus de Bom Jesus - UFPI, Bom Jesus, PI.

RESUMO: A disponibilidade de nutrientes pode afetar a fixação biológica do N₂ e, dentre os nutrientes que influenciam este processo destaca-se o fósforo (P). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de cinco doses e duas fontes de P solúvel na nodulação e fixação biológica de N₂ em feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se sacos plásticos contendo 5 kg de solo coletado na profundidade de 0-20 cm, organizados em delineamento experimental inteiramente casualizado em fatorial 5 x 2, com três repetições. As doses corresponderam a 0, 20, 40, 80 e 160 kg de P₂O₅ por hectare e as fontes foram o superfosfato simples (SFS) e o superfosfato triplo (SFT). As sementes de feijão-caupi da cultivar BRS-Paraguaçu foram inoculadas com *Bradyrhizobium spp.*, estirpe 3267. A avaliação foi realizada aos 35 dias após a emergência das plantas (DAE), quantificando-se o teor de clorofila nas folhas, o número e a massa de nódulos, a massa seca da planta e o acúmulo de N na parte aérea. Houve efeito de doses e fontes de P e da interação destes fatores para todas as variáveis analisadas e para o modelo quadrático de regressão. Observaram-se correlações significativas entre a nodulação, os teores de clorofila nas folhas e o N acumulado na parte aérea do feijão-caupi. O SFS apresentou maior eficiência relativa no aumento da nodulação e na fixação biológica do N em feijão-caupi. Independente das fontes de P, doses entre 60 a 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹, em solos arenosos, proporcionam maior crescimento desta cultura.

PALAVRAS-CHAVE: *Bradyrhizobium*. Fixação biológica. *Vigna unguiculata*. Adubação.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido por feijão macassar ou feijão-de-corda é uma das alternativas de alimento para a população de baixa renda da região Nordeste do Brasil (FREIRE FILHO et al., 2005). A cultura é uma das mais cultivadas no estado do Piauí, ocupando uma área de aproximadamente 210 mil hectares (IBGE, 2006). Entretanto, baixos níveis de produtividade têm sido observados nas áreas produtoras deste Estado e uma das principais causas é a baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente nitrogênio (N).

O N é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do feijoeiro. Segundo Malavolta e Lima Filho (1997), para atingir a produtividade de 1,5 Mg ha⁻¹ de grãos são necessários 100 kg ha⁻¹ de N. A adubação mineral é a principal forma de fornecimento de N às plantas. No entanto, a aplicação de N mineral em solos tropicais normalmente apresenta baixa eficiência de recuperação pelas plantas sendo, normalmente, inferior a 50% e podendo, em determinadas situações, em solos arenosos, limitar-se entre 5 a

10%, devido às grandes perdas por lixiviação e volatilização (DUQUE et al., 1985).

O feijão-caupi, através da simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, pode obter N através do processo de fixação biológica do N₂ (FBN) que, segundo Franco et al. (2002), é uma das formas de incrementar a produtividade de leguminosas, evitando-se custos com adubos nitrogenados solúveis. A FBN é reconhecidamente eficiente em feijão-caupi que, quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade (RUMJANEK et al., 2005). Vários trabalhos têm demonstrado os efeitos positivos do processo de FBN em feijão-caupi (XAVIER et al., 2006; XAVIER et al., 2007; XAVIER et al., 2008).

Entretanto, a nodulação e a FBN são influenciadas por fatores edafoclimáticos que podem trazer benefícios ou prejuízos ao processo. A disponibilidade de nutrientes está entre os principais fatores que influenciam a FBN e, dentre os principais nutrientes que influenciam tal processo, cita-se o fósforo (P). Apesar de extraído em menor quantidade do que outros macronutrientes, o P é considerado o principal fator limitante da produção da cultura (FREIRE FILHO et al., 2005), sendo

ainda importante para o estabelecimento de nodulação, pois aumenta o número de pelos radiculares proporcionando mais sítios de infecção para as bactérias fixadoras de N_2 (OKELEYE; OKELANA, 1997).

Além disso, a eficiência do processo de fixação do N_2 é dependente da disponibilidade de P devido a sua participação no processo simbiótico (BURITY et al., 2000). Vários trabalhos já verificaram o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e nodulação em leguminosas herbáceas (BURITY et al., 2000; SILVA; VAHL, 2002) e arbóreas (ARAÚJO et al., 2001 a,b).

Dentre as fontes de P solúvel existentes, o superfosfato simples (SFS) e triplo (SFT) são as mais utilizadas (LANA et al., 2004) e, em solos altamente intemperizados, são aplicadas doses altas, devido ao processo de adsorção aos argilominerais e óxidos de ferro e alumínio. O SFS tem a vantagem de também adicionar S para o solo e, consequentemente, suprir as necessidades das plantas com este elemento. Por outro lado, o SFT apresenta maior concentração de P_2O_5 , diminuindo a quantidade bruta a ser aplicada na adubação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de cinco doses e duas fontes de P solúvel em Neossolo Quartzarênico sobre a nodulação, o crescimento e o teor de clorofila nas folhas do feijão-caupi.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, utilizando-se sacos plásticos contendo 2,0 kg de um Neossolo Flúvico órtico típico coletado na profundidade de 0–20 cm. A análise de solo, realizada conforme Nogueira e Souza (2005) mostrou os seguintes resultados: 920, 50 e 30 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente, pH (H_2O) = 5,8; matéria orgânica = 7,3 g kg^{-1} ; P = 5,8 mg dm^{-3} ; K = 0,04 cmol_c dm^{-3} ; Ca + MG = 1,8 cmol_c dm^{-3} e CTC = 3,91 cmol_c dm^{-3} .

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental inteiramente casualizado sob arranjo fatorial 5 x 2 (cinco doses e duas fontes solúveis de P_2O_5) com três repetições. As doses consistiram de 0, 20, 40, 80 e 160 kg de P_2O_5 por hectare, aplicadas no plantio. As fontes de P_2O_5 utilizadas foram o SFS (20% P_2O_5) e o SFT (44% P_2O_5). A adubação potássica foi realizada utilizando-se 60 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de KCl, aplicado no plantio. As doses de P e K foram

convertidas para mg kg^{-1} utilizando valores de densidade do solo.

A inoculação das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS-Paraguaçu, foi feita com inoculante turfoso (concentração de 10^9 células g^{-1}), da estirpe de *Bradyrhizobium spp.* (3262). A dosagem utilizada foi de 500 g de inoculante para 50 kg de semente, 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). Utilizaram-se cinco sementes por saco e o desbaste foi realizado aos cinco dias após a emergência (DAE), deixando-se uma planta por saco. Os sacos foram irrigados diariamente, para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

A avaliação foi realizada aos 35 DAE, correspondente ao estágio fenológico de início de florescimento (XAVIER et al., 2007). A leitura de clorofila foi obtida utilizando-se um clorofilômetro portátil (Clorofil Log), sendo realizada nas folhas do terço mediano da planta (três folhas por planta). As plantas foram coletadas e as raízes separadas da parte aérea na base do caule. Os nódulos foram destacados, contados e colocados para secar em estufa a 65 °C por 72 horas, sendo, em seguida, determinada a sua massa. A parte aérea e as raízes também foram colocadas para secar em estufa a 65 °C por 72 horas. O N total foi determinado pelo método semi-microkjedahl e utilizado para se calcular o acúmulo de N na matéria seca da parte aérea (ANPA). O ANPA foi calculado, multiplicando-se o peso pelo teor de N. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito para doses e fontes de P_2O_5 isoladamente e em conjunto (interação doses e fontes de P_2O_5) e para o modelo quadrático de ajuste de regressão para todas as variáveis analisadas. Em relação ao número de nódulos, a função ajustada teve valores máximos de 46 e 51 nódulos, estimados com SFS e SFT nas doses de 32,5 e 45,5 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente (Figura 1a). Para a massa seca de nódulos, os valores máximos estimados foram de 100 e 121 mg $planta^{-1}$, nas doses de 53 e 96 kg ha^{-1} de P_2O_5 das fontes SFS e SFT, respectivamente (Figura 1b). Estes valores para o número e a massa dos nódulos demonstram uma nodulação satisfatória e estes resultados são similares aos obtidos por Xavier et al. (2008) e Gualter et al. (2008) em feijão-caupi, na mesma região de realização deste trabalho.

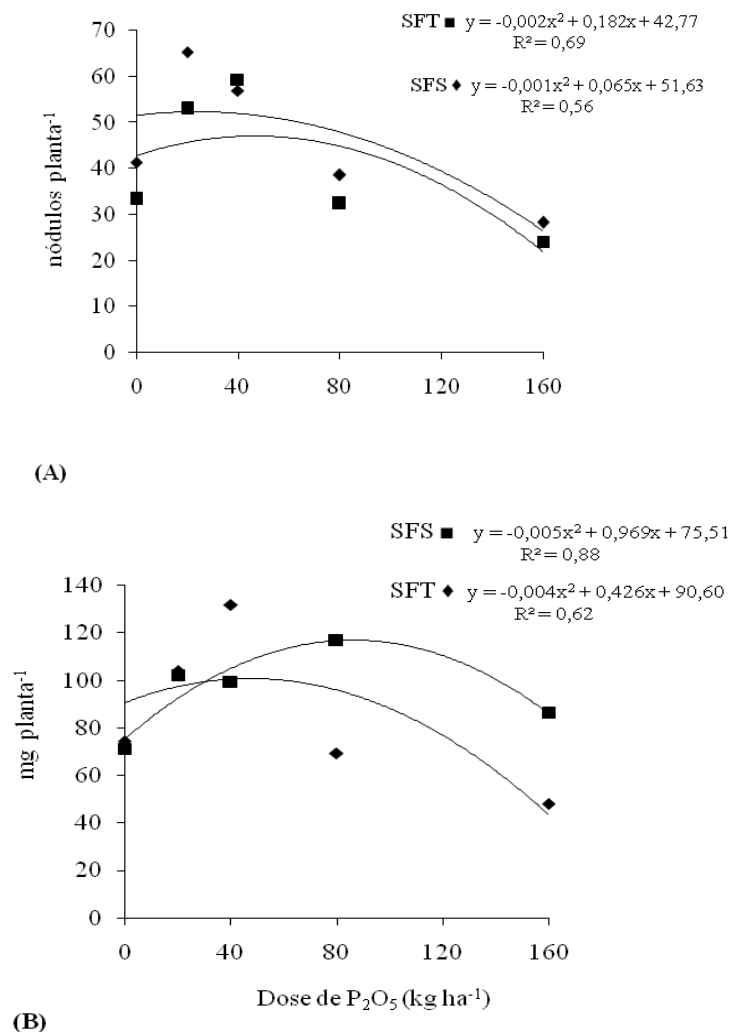


Figura 1. Número (A) e massa seca de nódulos (B) de plantas de feijão-caupi aos 35 DAE, cultivadas em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico, em função de doses crescentes de superfosfato simples (SFT, ■) e superfosfato triplo (SFS, ♦).

Os resultados demonstraram que os maiores valores estimados com o SFS, foram obtidos com aproximadamente a metade da dose utilizada com SFT, indicando que, com o uso daquela fonte fosfatada, os valores adequados de número e massa dos nódulos podem ser obtidos com doses mais baixas, indicando economia de fertilizante. Este melhor desempenho obtido com SFS pode ser devido à presença de S no fertilizante, já que solos arenosos geralmente são deficientes nesse elemento que favorece a formação de nódulos (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

A função ajustada para a clorofila revelou que os valores máximos estimados para a leitura da clorofila foram de 41 e 56 unidades nas doses de 66 e 86 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$ para SFS e SFT, respectivamente (Figura 2a). Isto indica que o SFT proporcionou

maior teor de clorofila na folha, embora para isto tenha exigido dose maior de P_2O_5 , quando comparado com o SFS.

Para a massa seca da parte aérea, as funções ajustadas demonstraram valores máximos de 1,16 e 1,19 $g\ planta^{-1}$ nas doses de 72 e 80 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$, para SFS e SFT, respectivamente (Figura 2b). Estes valores são iguais estatisticamente e sugerem que, para fontes solúveis de P, doses equivalentes a 80 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 em solos arenosos e com baixa disponibilidade de P seriam adequadas para o desenvolvimento do feijão-caupi, concordando com os resultados obtidos por Cardoso et al. (2006) que observaram, em solos de textura média, doses adequadas para produção de grãos em feijão-caupi de aproximadamente 60 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Embora, este experimento tenha sido feito em casa de

vegetação, onde o volume de solo explorado é menor e diversas condições são controladas, os resultados podem indicar uma possível dose

resposta das plantas de feijão-caupi ao P em solos arenosos.

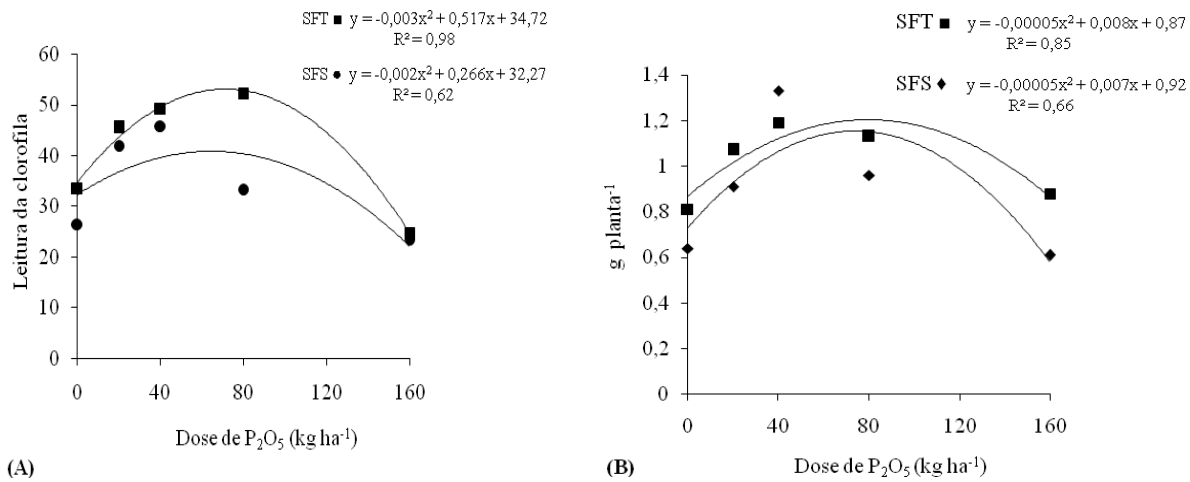


Figura 2. Teor de clorofila (A) e massa da parte aérea seca (B) de plantas de feijão-caupi aos 35 DAE, cultivadas em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico, em função de doses crescentes de superfosfato simples (SFT, ■) e superfosfato triplo (SFS, ◆).

Os valores máximos estimados para a massa seca das raízes foram de 0,41 e 0,50 g planta⁻¹ nas doses de 61 e 64 kg P₂O₅ ha⁻¹, para SFS e SFT, respectivamente (Figura 3a). Resultados semelhantes foram observados para a relação raiz/parte aérea, sendo valores máximos estimados

de 0,49 e 0,58 nas doses de 51 e 59 kg P₂O₅ ha⁻¹, para SFS e SFT, respectivamente (Figura 3b). Isto indica o efeito favorável do P no crescimento do sistema radicular. Além disso, o P é exigido em maior disponibilidade nas etapas iniciais da vida da planta (FAGERIA et al., 1991).

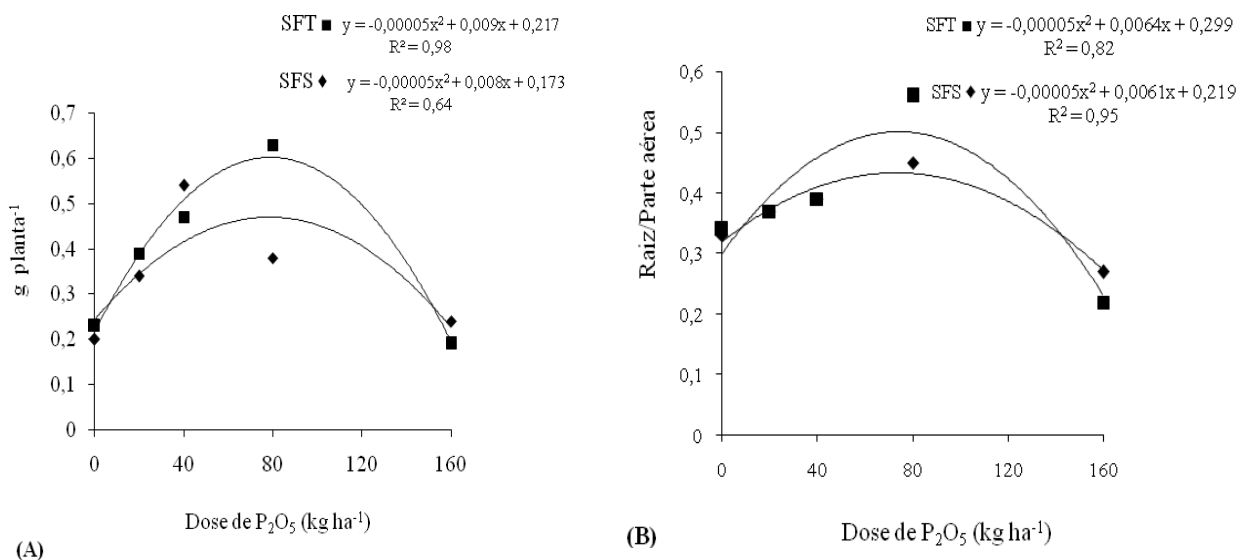


Figura 3. Massa seca de raízes (A) e relação raiz/parte aérea (B) de plantas de feijão-caupi aos 35 DAE, cultivadas em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico, em função de doses crescentes de superfosfato simples (SFT, ■) e superfosfato triplo (SFS, ◆).

Em relação ao ANPA, a função ajustada teve valores máximos estimados de 4,01 e 4,32 % com SFS e SFT, nas doses de 56,1 e 64,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Figura 4). Estes valores indicam que o P favoreceu o processo de FBN, uma

vez que 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.

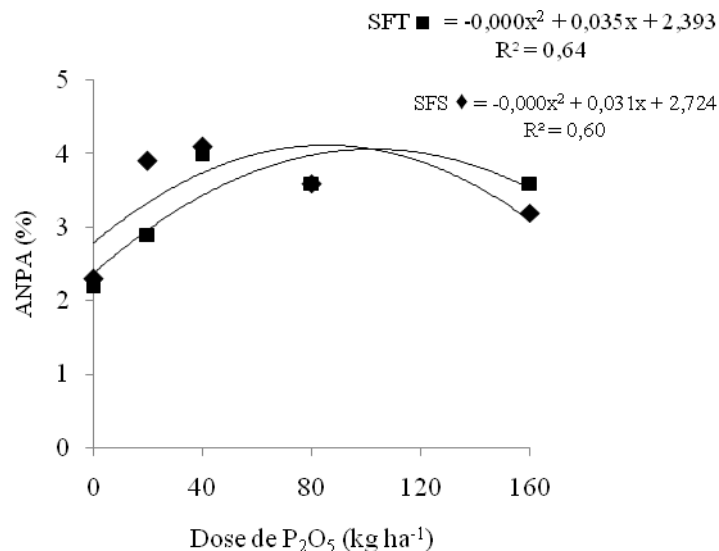


Figura 4. Acúmulo de N na parte aérea (ANPA) em plantas de feijão-caupi aos 35 DAE, cultivadas em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico, em função de doses crescentes de superfosfato simples (SFT, ■) e superfosfato triplo (SFS, ◆).

De forma geral, as doses de adubos fosfatados que proporcionaram os maiores valores de número e massa seca de nódulos foram aproximadamente 40% menores, comparado aos valores máximos estimados para as variáveis relacionadas ao crescimento vegetal. Isto indica que a nodulação do feijão-caupi ocorre adequadamente em doses de aproximadamente 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, concordando com resultados de Almeida et al. (1988) que avaliaram resposta de feijão-caupi ao P e à inoculação de rizóbio em solo arenoso e observaram que a adubação com aproximadamente 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel incrementou a nodulação. Entretanto, os resultados são discordantes aos observado por Othman et al. (1991) que verificaram limitado número e massa de nódulos, em feijão-caupi, sob níveis baixos de P no solo. Igualmente, Okeleye e Okelana (1997) demonstraram aumento significativo na nodulação do feijão-caupi em doses crescentes de P. Neste sentido, há de se considerar a necessidade de mais estudos para avaliar os níveis adequados de P₂O₅ para diferentes localidades.

Os resultados mostraram correlações positivas entre a nodulação e a leitura da clorofila nas folhas do feijão-caupi e entre o ANPA e estas duas variáveis (Figura 4). Este resultado indica que a FBN ocorreu de forma satisfatória e foi proporcional à nodulação, uma vez há correlação alta entre a leitura de clorofila e a concentração de N nas folhas do feijoeiro (SILVEIRA et al., 2003; DIDONET et al., 2005).

O acúmulo de matéria seca da parte aérea mostrou correlação com a nodulação e o ANPA, mostrando efeito positivo do aumento na nodulação sobre o desenvolvimento do feijão-caupi e indicando que a FBN supriu a planta em N proporcionalmente à intensidade de nodulação (Figura 5). Estes resultados estão de acordo com Souza et al. (2008) que encontraram correlação positiva entre as variáveis da nodulação (número e massa de nódulos) e a biomassa seca da parte aérea de soja.

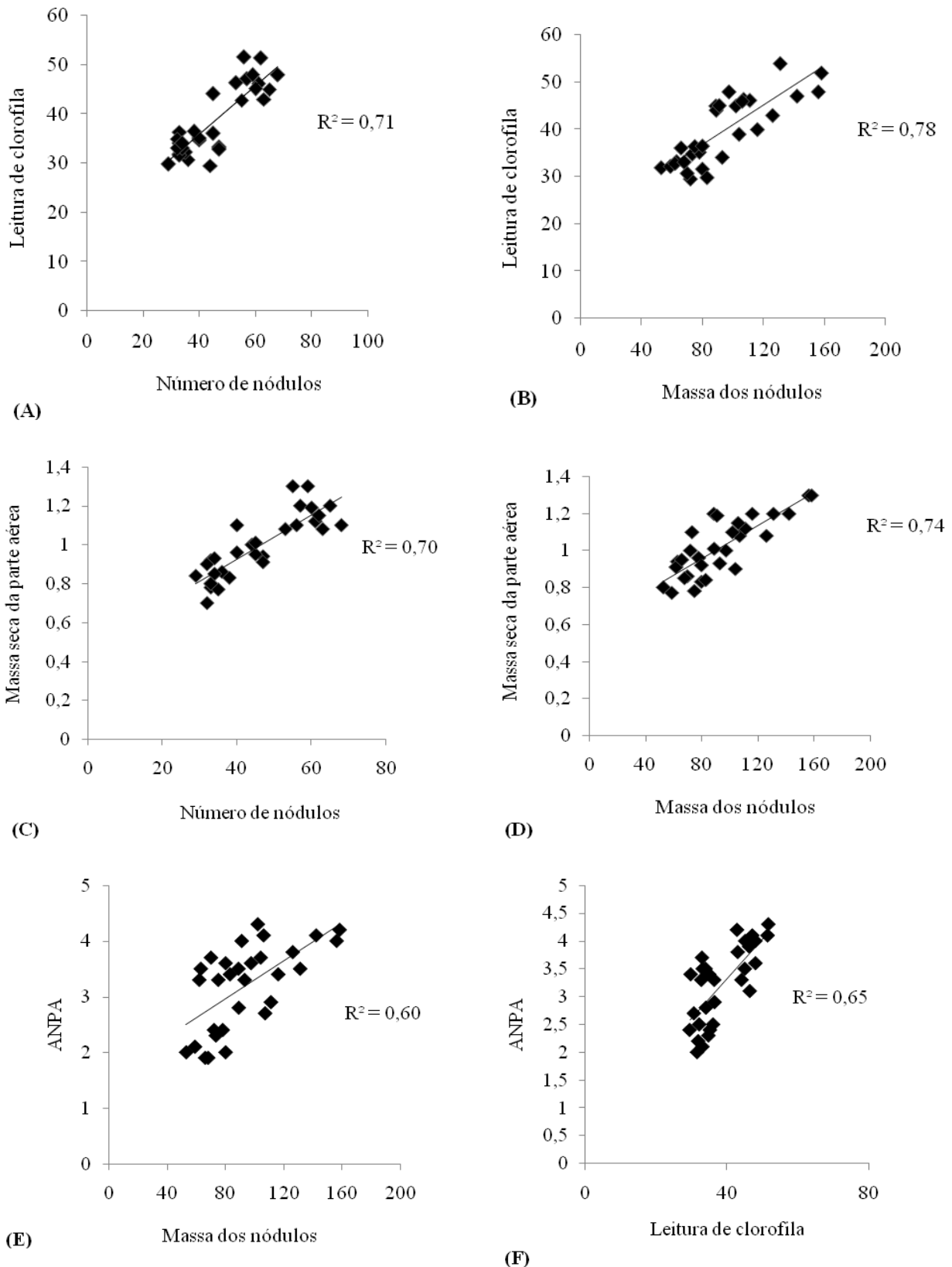


Figura 5. Relação entre o número de nódulos e a leitura de clorofila (A); massa seca de nódulos e a leitura de clorofila (B); número de nódulos e a massa seca da parte aérea (C); massa seca de nódulos e a de parte aérea (D); massa seca de nódulos e o ANPA (E); leitura de clorofila e o ANPA (F) em plantas de feijão-caupi aos 35 DAE, cultivadas em casa de vegetação em Neossolo Quartzarênico, em função de doses crescentes de superfosfato simples (SFT, ■) e superfosfato triplo (SFS, ◆).

CONCLUSÕES

O superfosfato simples apresentou maior eficiência relativa que o superfosfato triplo no aumento da nodulação e na fixação biológica do N em feijão-caupi.

Independentemente das fontes de P solúveis, doses de P₂O₅ entre 60 a 80 kg ha⁻¹, em solos arenosos, proporcionam maior crescimento desta cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de Iniciação Científica e Produtividade de Pesquisa a Elzane F. L. Silva e Ademir S. F. Araújo, respectivamente.

ABSTRACT: The nutrient availability can affect the biological nitrogen fixation while phosphorus (P) is among the nutrients that influence strongly this process. The aim of this study was to evaluate the effect of rates and sources of soluble P on nodulation and biological nitrogen fixation in cowpea. The experiment was conducted out in a greenhouse using pots containing a soil collected at 0-20 cm depth. The treatments were disposed in a completely randomized design, factorial 5 x 2 (five rates and two soluble sources of P₂O₅) and triplicates. The rates consisted of 0, 20, 40, 80 and 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and the sources of P₂O₅ were the single super phosphate (SSP) and triple super phosphate. The cowpea seeds (BRS-Paraguaçu) were inoculated with *Bradyrhizobium spp.*, (strain 3262). The evaluation was carried out at 35 days after plant emergence (DAE), measuring the nodule number and dry matter, shoot and root dry matter, shoot N accumulate and chlorophyll content. There was effect for P sources, rates and interaction of rates and P sources for all variables and the adjusted model was quadratic. The results showed significant correlations among nodulation, chlorophyll and N accumulate of cowpea. The use of SSP provided higher relative efficiency for nodulation and biological nitrogen fixation of cowpea. Independent of P sources, rates between 60 to 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅, in sandy soils, increase the cowpea growth.

KEYWORDS: *Bradyrhizobium*. N₂ fixation. *Vigna unguiculata*. Fertilization.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. T.; FREIRE, V. F.; VASCONCELOS, I. Efeito da baixa dosagem de fósforo e da inoculação com rizóbio e fungo micorrizico VA sobre o desenvolvimento de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L) Walp.). **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 9, p. 13-18, 1988
- ARAÚJO, A. S. F.; BURITY, H. A.; LYRA, M. C. P. Influencia de diferentes níveis de nitrogênio e fósforo em leucena inoculada com *Rhizobium* e fungo micorrizico arbuscular. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, p. 35-40, 2001a.
- ARAÚJO, A. S. F.; BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P. Influencia de diferentes níveis de fósforo na associação *Rhizobium* - fungo micorrizico arbuscular em algaroba (*Prosopis juliflora*). **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 6, p. 1-7, 2001b.
- BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P.; SOUZA, E. S. Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrizicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 801-807, 2000.
- CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; ATHAYDE SOBRINHO, C. Rendimento de grãos de feijão-caupi (cv. BRS Guariba) relacionado a doses de fósforo. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, **Anais**. Teresina, EMBRAPA, 2006. (Cd Room).
- DIDONET, A. D.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado: uso do clorofilometro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, p. 103-111, 2005.

- DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; VICTÓRIA, R. L.; BODDEY, R. M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and qualification of N₂ fixation using 15N. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 88, p. 333-343, 1985.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition on Field crops**. New York: Marcel Dekker, 1991. 476p.
- FRANCO, M. C.; CASSINI, S.T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C.; TSAI, S.M. Nodulation in Andean and Mesoamerican cultivars of dry bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1145-1150, 2002.
- FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519 p.
- GUALTER, R. M.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; ALCANTARA, R. M. C. M.; COSTA, D. B. Inoculação e adubação mineral em feijão-caupi: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade de grãos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 469-474, 2008.
- HUNGRIA, M., CAMPO, R. J.; VARGAS, M. A. T. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE **Levantamento sistemático da produção agrícola. Relatório geral: culturas temporárias da região nordeste**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Acesso em 18 de agosto de 2006.
- LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 525-528, 2004.
- MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O. F. Nutrição e adubação do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Tecnologia da produção de feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 22-51.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.) **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 89-250.
- NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. de. **Manual de Laboratório: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.
- OKELEYE, K. A.; OKELANA, M. A. Effect of phosphorus fertilizer on nodulation, growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Dehli, v. 67, p. 10-12, 1997.
- OTHMAN, W. M. W.; LIE, T. A.; MANETJE, L.; WASSINK, G. Y.; WAN-OTHMAN, W. M. Low level phosphorus supply affecting nodulation, N₂ fixation and growth cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 15, p. 67-74, 1991.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.
- RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; NEVES, M. C. P. Fixação biológica do nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Eds.) **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2005. p. 281-335.
- SILVA, R. J. S.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num Neossolo Litólico distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 8, p. 129-132, 2002.

- SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 38, p. 1083-1087, 2003.
- SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; MACIEL, C. D.; CAMPO, R. J.; ZAIA, D. A. M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, p. 83-91, 2008.
- XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RIBEIRO, J. R. A.; RUMJANEK, N. G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga, Mossoró**, v. 19, p. 25-33, 2006.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 37, p. 572-575, 2007.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Influência da inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 38, p. 2037-2041, 2008.