

Resposta de duas cultivares de feijão-caupi à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio em ambiente protegido

Elaine M. da Costa¹, Rafaela S. A. Nóbrega², Alessandro F. T. da Silva³, Linnajara de V. M. Ferreira¹,
Júlio C. A. Nóbrega², Fatima M. de S. Moreira¹

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Setor de Microbiologia do Solo, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. Caixa Postal 3037. E-mail: elainemartins20@hotmail.com; linnajaravasconcelos@hotmail.com; fmoreira@dcs.ufla.br

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, CEP 44380-000, Cruz das Almas-BA, Brasil. E-mail: rafaela.nobrega@ufrb.edu.br; juliocnobrega@ufrb.edu.br

³ Universidade Federal do Piauí, Campus Profa Cinobelina Elvas, BR-135, km 3, Planalto Cibrazem, CEP 64900-000, Bom Jesus- PI, Brasil. E-mail: alefrancotorres@hotmail.com

RESUMO

Em função da diversidade das condições edafoclimáticas dos agroecossistemas brasileiros, é de grande importância a seleção de estirpes de rizóbios eficientes na fixação biológica de nitrogênio e adaptadas às condições locais. Este trabalho propôs avaliar, em viveiro revestido por plástico no Sudoeste do Piauí, a resposta de duas cultivares de feijão-caupi à inoculação com estirpes de rizóbios selecionadas e em fase de seleção. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos arranjados em esquema fatorial (2x7): duas cultivares de feijão-caupi (BR 17 Gurgueia e BRS Guariba) e sete tratamentos constituídos por duas estirpes pré-selecionadas (UFLA 3-164 e UFLA 3-154), quatro estirpes autorizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (INPA 3-11B, UFLA 3-84, BR 3267 e BR 3262) e um controle não inoculado, sem nitrogênio mineral. Foram avaliados a nodulação, massa seca e o acúmulo de nitrogênio na parte aérea, e a eficiência nodular. A nodulação das cultivares foi influenciada pelos tratamentos. As estirpes UFLA 3-164 e BR 3262 proporcionaram maior produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio na parte aérea quando inoculadas na cultivar BRS Guariba.

Palavras-chave: inoculação, rizóbio, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Response of two cowpea cultivars to inoculation with nitrogen fixing bacteria in protected environment

ABSTRACT

Due to the diversity of soil and climatic conditions of the Brazilian agroecosystems it is of great importance to select rhizobia strains efficient in nitrogen fixation and adapted to local conditions. This study aimed to evaluate in a protected environment at the Southwest of Piauí the response of two cowpea cultivars to inoculation with rhizobia strains selected and the in selection phase. The experimental design was completely randomized with four replications and treatments arranged in a 2 x 7 factorial scheme: two cowpea cultivars (BR 17 Gurgueia and BRS Guariba) and seven treatments consisting of two pre-selected strains (UFLA 3-164 and UFLA 3-154), four strains authorized by Ministry the Agriculture, Livestock and Supply (INPA 3-11B, UFLA 3-84, BR 3267 and BR 3262) and a control without mineral nitrogen and without inoculation. The nodulation, shoot dry mass and nitrogen accumulation in the shoot and nodule efficiency were evaluated. The nodulation of cultivars was influenced by treatments. Strains UFLA 3-164 and BR 3262 showed higher biomass production and nitrogen accumulation in shoots when inoculated on BRS Guariba.

Key words: inoculation, rhizobia, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma leguminosa de grande importância no Nordeste brasileiro devido à sua rusticidade e versatilidade, além de constituir a principal fonte de proteína vegetal na dieta das populações de baixa renda desta região (Freire Filho et al., 2005). Para o sucesso do cultivo desta cultura, a escolha de cultivares que apresentem características compatíveis com a exigência do mercado é um ponto relevante. Entre as cultivares brasileiras de feijão-caupi na região Nordeste, se destacam a BR 17-Gurgueia, no Piauí e no Maranhão; a Patativa, no Ceará; a Paraguaçu, na Bahia e a BRS Guariba, em vários estados do Nordeste (Freire Filho et al., 2011). Essas cultivares apresentam diferentes características agrônômicas e potencialidades (Freire Filho et al., 2011).

No Sudoeste do Estado do Piauí as cultivares de feijão-caupi mais utilizadas são a BR 17-Gurgueia e BRS Guariba, e o cultivo é voltado especialmente para pequenos e médios agricultores, predominando como agricultura de subsistência, caracterizada por baixo uso de tecnologia e solos deficientes em nutrientes, sobretudo o nitrogênio (N). A incorporação de N₂ via fixação biológica de nitrogênio (FBN) aos diferentes agroecossistemas tem-se mostrado indispensável para a sustentabilidade da agricultura brasileira, em especial devido à economia no uso de fertilizantes nitrogenados industrializados (Soares et al., 2006; Costa et al., 2011; Ferreira et al., 2013), resultando em menor custo de produção e redução dos impactos ambientais provenientes do manejo inadequado desses fertilizantes.

Na cultura do feijão-caupi a utilização de N, via FBN, através da inoculação de suas sementes com bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas de leguminosas (BFNNL) selecionadas, pode substituir, parcial ou totalmente, a adubação com fertilizantes nitrogenados (Lacerda et al., 2004; Soares et al., 2006; Costa et al., 2011; Ferreira et al., 2013). No entanto, o sucesso da inoculação nessa cultura nem sempre é verificado pois as estirpes inoculantes podem ser afetadas por diversos fatores edafoclimáticos (Bonilla & Bolaños, 2010; Moreira et al., 2010) e por características genéticas das plantas hospedeiras (Xavier et al., 2006; Leite et al., 2009; Belane & Dakora, 2009). Além disto, o feijão-caupi é capaz de nodular com uma ampla faixa de BFNNL nativas (Moreira, 2006; Guimarães et al., 2012; Jaramillo et al., 2013) que, além de mais adaptadas, podem competir com as estirpes selecionadas pelos sítios de infecção durante o processo de nodulação e fixação do N₂. Neste contexto, é de suma importância a seleção de estirpes de BFNNL adaptadas às diversas condições edafoclimáticas, além de apresentarem alta eficiência na fixação de N₂, alta capacidade competitiva com as populações nativas e habilidade de fixar N₂ numa ampla faixa de hospedeiros.

No processo de seleção e recomendação de novas estirpes de BFNNL para determinada espécie leguminosa, ocorrem quatro etapas. Na primeira é verificada, em condições estéreis e controladas, a capacidade de nodular e fixar nitrogênio de um número elevado de estirpes. Na segunda etapa as estirpes que se destacaram na primeira etapa são testadas em vasos Leonard utilizando-se substrato esterilizado. Na terceira etapa

as estirpes mais eficientes são avaliadas em vasos com solo não estéril e, posteriormente, são testadas em condições de campo (Moreira & Siqueira, 2006). Nas duas últimas etapas é importante a avaliação das estirpes em diversas condições edafoclimáticas e em diferentes genótipos da espécie em questão já que as estirpes inoculantes são autorizadas para utilização em todas as regiões brasileiras (Brasil, 2011).

As estirpes UFLA 3-164 e UFLA 3-154, atualmente em fase de seleção, apresentaram alta eficiência em fixar N₂ quando inoculadas no feijão-caupi em vasos de Leonard e em vasos com solo não estéril, em experimentos conduzidos em Lavras, MG (Soares et al., 2014) e incrementos significativos no rendimento de grãos, em experimento de campo conduzido em Itauiera, PI (Ferreira et al., 2013). No entanto, para confirmar o potencial dessas estirpes para utilização como inoculantes de feijão-caupi é imprescindível a realização de mais testes de eficiência em solos de outras condições edafoclimáticas.

No Sudoeste do Estado do Piauí, microrregião do Alto Médio Gurgueia, em que o feijão-caupi vem sendo cultivado como cultura de subsistência por pequenos agricultores, é relevante a otimização da FBN através da seleção de estirpes de BFNNL adaptadas e eficientes em fornecer N às cultivares usadas tradicionalmente pelos agricultores dessa região (BR 17 Gurgueia e BRS Guariba), visando à redução dos custos de produção. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar, na região Sudoeste piauiense, a resposta de duas cultivares de feijão-caupi à inoculação com estirpes previamente selecionadas e as autorizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a cultura.

Material e Métodos

O ensaio foi conduzido entre os meses de maio a julho de 2010, em viveiro revestido por plástico da Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus (CPCE/UFPI), PI (277 m de altitude, 09°04' S e 44°21' W). As temperaturas máxima e mínima internas no viveiro foram registradas durante o período experimental (Figura 1).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso com quatro repetições e os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2x7 [2 cultivares de feijão-caupi (BR 17 Gurgueia e BRS Guariba) e 7 tratamentos (6 estirpes de rizóbios, INPA 3-11B, UFLA 3-84, BR 3262, BR 3267, UFLA 3-154 e

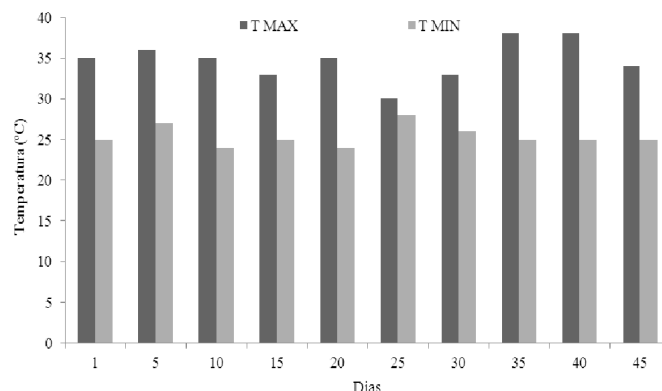


Figura 1. Temperaturas máxima (T MAX) e mínima (T MIN) internas em ambiente protegido durante o período experimental

UFLA 3-164 e 1 controle sem inoculação e sem N mineral)]. As estirpes INPA 3-11B (SEMIA 6463) e UFLA 3-84 (SEMIA 6461), isoladas de solos da Amazônia e identificadas como pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium* (Soares et al., 2006) e as estirpes BR 3262 (SEMIA 6464) e BR 3267 (SEMIA 6462), também pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium*, isoladas, respectivamente, de solos de Seropédica, RJ (Zilli et al., 1998) e do Semiárido nordestino (Martins, 1996) são, atualmente, autorizadas pelo MAPA (Brasil, 2011) como inoculantes para o feijão-caupi. As estirpes UFLA 3-154 e UFLA 3-164 foram isoladas de solos de mineração de bauxita em reabilitação e identificadas como pertencentes ao gênero *Burkholderia* e *Bradyrhizobium*, respectivamente (Oliveira-Longatti et al., 2014), testadas em vasos com solo em Minas Gerais (Soares et al., 2014), em campo em Itauera, PI (Ferreira et al., 2013) e se encontram, atualmente, em fase de seleção.

Vasos plásticos de 2 kg foram utilizados para acondicionar as amostras de um Neossolo Quartzarênico com histórico de cultivo anterior de capim-andropogon (*Andropogon gayanus*) por dezoito anos sucessivos, sem utilização de qualquer tipo de inoculante microbiano. As análises químicas da amostra de solo retirada na profundidade de 0 a 0,2 m, antes da instalação do experimento, mostraram as seguintes características: pH (H₂O): 6,3; MO: 6,0 g dm⁻³; P (resina): 15,0 mg dm⁻³; K⁺: 1,3 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺: 11,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺: 4,0 mmol_c dm⁻³; (H+Al): 18,0 mmol_c dm⁻³; SB: 16,3 mmol_c dm⁻³; T: 34,3 mmol_c dm⁻³; V: 48,0%; B: 0,19 mg dm⁻³; Cu: 0,2 mg dm⁻³; Fe: 15,0 mg dm⁻³; Mn: 4,2 mg dm⁻³ e Zn: 0,7 mg dm⁻³.

A adubação mineral com fósforo e potássio foi realizada no plantio para todos os tratamentos com aplicação de 1,2 g vaso⁻¹ de P₂O₅ (equivalente a 60 kg ha⁻¹) e 0,8 g de K₂O (equivalente a 40 kg ha⁻¹) usando-se, como fonte, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Antes do plantio as sementes foram desinfestadas superficialmente em álcool 98% por três minutos, hipoclorito de sódio 1% por 3 minutos e lavagens sucessivas em água estéril. A semeadura foi realizada utilizando-se seis sementes por vaso. Para os tratamentos que receberam inoculação as sementes foram inoculadas com a aplicação de 1 mL por semente de culturas crescidas em meio 79 semissólido (Fred & Waksman, 1928) na fase log (após cinco dias de crescimento na temperatura de 28 °C), com concentração mínima de 10⁹ células g⁻¹ de inoculante. O desbaste foi realizado cinco dias após a emergência deixando-se duas plantas por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo.

Aos 45 dias após o plantio (início do florescimento), as plantas foram coletadas para avaliação do número de nódulos por planta (NN), massa fresca e seca de nódulos (MFN e MSN), produção de massa seca da parte aérea (MSPA), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) e eficiência nodular (EFNOD).

Para determinação da MSN e MSPA, os nódulos e a parte aérea foram depositados em estufa de ar forçado a 60 °C, até atingir peso massa constante. O ANPA foi calculado multiplicando-se o peso da MSPA (g) pelo teor de N na parte aérea (%) / 100. O teor de N na parte aérea foi determinado através do método semimicrokjedahl (Liao, 1981). A eficiência nodular foi estimada pela relação entre o ANPA (mg) e MSN (mg).

Os dados do ensaio foram submetidos à análise de variância empregando-se o sistema de análise estatística SISVAR 5.3 (Ferreira, 2008). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Para as variáveis NN e MFN e MSN os dados foram transformados pela raiz quadrada de Y + 0,5.

Resultados e Discussão

Para a variável massa fresca de nódulos (MFN) não houve efeito significativo (p>0,05) da interação entre cultivares e tratamentos nem entre os tratamentos. Já entre as cultivares foi verificada diferença significativa (p<0,05), sendo que a BR 17 Gurgueia produziu, em média, MFN significativamente superior à BRS Guariba (Tabela 1), indicando que a nodulação do feijão-caupi é influenciada pelas características genéticas das plantas hospedeiras.

Tabela 1. Valores médios da massa fresca de nódulos (MFN) de cultivares de feijão-caupi em um Neossolo Quartzarênico no Sudoeste Piauiense

Cultivares	MFN (g planta ⁻¹)
BRS Guariba	1,72 b ⁽¹⁾
BR 17 Gurgueia	2,89 a
CV (%)	18,08

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Scott-Knott a nível de 5% de probabilidade

Em relação às variáveis número (NN) e massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) houve interação significativa (p<0,05) entre os fatores (Tabela 2), sugerindo que o desempenho das cultivares de feijão-caupi é influenciado pela inoculação com diferentes estirpes de rizóbio.

As estirpes UFLA 3-154, BR 3267 e INPA 3-11B proporcionaram NN e produção de MSN significativamente (p<0,05) superiores quando inoculadas na cultivar BR 17 Gurgueia. A estirpe UFLA 3-84, apesar de proporcionar NN semelhante entre as cultivares, apresentou comportamento semelhante às estirpes UFLA 3-154, BR 3267 e INPA 3-11B quanto à produção de MSN, e essas estirpes apresentam maior capacidade de nodulação quando inoculadas na cultivar de feijão-caupi BR 17 Gurgueia. Por outro lado, as populações nativas de rizóbios (controle sem inoculação) promoveram maior MSN quando em simbiose com a cultivar BRS Guariba, superando em 80% a massa nodular obtida na cultivar BR 17 Gurgueia no tratamento sem inoculação.

Este resultado sugere que as populações nativas de rizóbios apresentam maior capacidade de nodulação quando em simbiose com a cultivar BRS Guariba, o que pode estar relacionado a fatores genéticos dessa cultivar.

Segundo Hartwig (1998), o processo de nodulação é influenciado por características genóticas do macro e microsimbionte e modulado por uma intensa troca de sinais moleculares, refletindo em diferentes respostas em relação à faixa hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica. No presente trabalho foram verificadas respostas diferenciadas em relação à nodulação das cultivares de feijão-caupi quando em simbiose com as estirpes UFLA 3-154, BR 3267, INPA 3-11B

Tabela 2. Valores médios do número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN), massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de N na parte aérea (ANPA) das cultivares de feijão-caupi, em função de inoculação com estirpes de rizóbio em Neossolo Quartzarênico no Sudoeste Piauiense

Cultivares	Tratamentos	NN	MSN	MSPA	ANPA
		(número planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)		(mg planta ⁻¹)
BR 17 Gurgueia	Sem inoculação	32,75 aA ⁽¹⁾	0,41 aB	5,14 aA	140,33 aB
	UFLA 3-84	33,75 aA	0,46 aA	4,32 bA	125,30 bA
	BR 3262	36,50 aA	0,38 aA	5,06 aB	118,20 bB
	UFLA 3-164	48,25 aA	0,43 aA	4,35 bB	143,63 aB
	UFLA 3-154	50,25 aA	0,46 aA	4,44 bA	114,47 aB
	BR 3267	51,00 aA	0,44 aA	4,15 bA	106,04 bA
	INPA 3-11B	55,00 aA	0,65 aA	5,13 aA	118,50 bA
Média		43,93 A	0,46 A	4,65B	123,90 B
BRS Guariba	Sem inoculação	41,50 aA	0,74 aA	5,70 bA	163,99 cA
	UFLA 3-84	37,50 aA	0,26 cB	4,58 cA	123,38 dA
	BR 3262	41,25 aA	0,41 bA	6,53 aA	182,15 bA
	UFLA 3-164	38,25 aA	0,42 bA	6,92 aA	231,16 aA
	UFLA 3-153	27,00 aB	0,12 cB	3,15 dB	59,15 eB
	BR 3267	22,00 aB	0,24 cB	3,24 dB	113,23 dA
	INPA 3-11B	17,00 aB	0,32 bB	5,06 bA	126,71 dA
Média		32,28 B	0,36 B	5,03 A	142,82 A
CV (%)		27,85	7,56	10,36	6,47

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e dentro de cada cultivar, e maiúsculas nas colunas entre as cultivares, não diferem entre si, de acordo com o teste de Scott-Knott a nível de 5% de probabilidade.

e UFLA 3-84 e as populações nativas de rizóbios. Resultados semelhantes foram verificados em outros estudos com cultivares de feijão-caupi (Xavier et al., 2006; Melo & Zilli, 2009; Leite et al., 2009). No estudo de Xavier et al. (2006), foi verificada especificidade simbiótica entre estirpes de rizóbios e cultivares de feijão-caupi, em experimento conduzido em um Latossolo Amarelo no qual a estirpe BR 3269 proporcionou NN significativamente superior na cultivar BR 17 Gurgueia em relação às cultivares IT 87D-939-1, VITA 7 e Au 94-MOB 816.

Por meio da análise do desdobramento dos tratamentos dentro de cultivares constatou-se que todos os tratamentos inoculados na cultivar BR 17 Gurgueia apresentaram MSN semelhantes si e ao controle sem inoculação, corroborando resultados obtidos por Costa et al. (2011) em estudo conduzido no Sudoeste piauiense. Já na cultivar BRS Guariba, o controle não inoculado apresentou produção de MSN significativamente ($p < 0,05$) superior à dos tratamentos inoculados. Essas respostas em relação à nodulação podem estar relacionadas à competitividade das estirpes inoculantes com as populações nativas de rizóbios, as quais podem resultar na redução ou aumento da nodulação, dependendo da capacidade de ocupação nodular e da adaptação das estirpes inoculantes às condições edafoclimáticas locais (Xavier et al., 2006).

Avaliando a interação entre cultivares e tratamentos para a MSPA, verificou-se que as estirpes BR 3262 e UFLA 3-164 promoveram produções significativamente ($p < 0,05$) superiores quando inoculadas na cultivar BRS Guariba, resultando em incrementos de 29 e 59%, respectivamente, em relação à produção de MSPA obtida quando inoculadas na cultivar BR 17 Gurgueia. Por outro lado, as estirpes UFLA 3-154 e BR 3267 promoveram maiores produções de MSPA quando inoculadas na cultivar BR 17 Gurgueia, superando em 40 e 28%, respectivamente, a produção de MSPA obtida quando inoculadas na cultivar BRS Guariba.

Na avaliação dos tratamentos dentro de cultivares verificou-se que na cultivar BR 17 Gurgueia as inoculações com as estirpes INPA 3-11B e BR 3262 promoveram produções de

MSPA significativamente ($p < 0,05$) superiores às dos demais tratamentos inoculados porém semelhantes ao controle sem inoculação. Já na cultivar BRS Guariba, as estirpes BR 3262 e a UFLA 3-164 se destacaram, promovendo produções de MSPA significativamente ($p < 0,05$) superiores às dos demais tratamentos inoculados e ao controle sem inoculação demonstrando a boa eficiência simbiótica dessas estirpes para inoculação na cultivar BRS Guariba.

Pesquisas realizadas em outras regiões brasileiras também obtiveram respostas diferenciadas quanto à produção de MSPA entre genótipos de feijão-caupi inoculados com diferentes estirpes de rizóbios. Lacerda et al. (2004) verificaram, trabalhando com oito estirpes de rizóbios inoculadas em duas cultivares de feijão-caupi (BR 08 Calderão e BR 14 Mulato), em um Latossolo Vermelho-Amarelo, em Minas Gerais, que as estirpes UFLA 3-35, UFLA 3-36, UFLA 3-129 apresentaram maior produção de MSPA quando inoculadas na cultivar BR 08 Calderão. Melo & Zilli (2009) obtiveram, em experimento conduzido em Roraima, em vasos de Leonard, produções de MSPA de 10,8 e 11,6 g planta⁻¹ para a BR17 Gurgueia e de 9,5 e 14,1 g planta⁻¹ para a BRS Guariba nos tratamentos inoculados com as estirpes BR 3267 e BR 3262, respectivamente. Esses resultados demonstram que a produção de MSPA das cultivares de feijão-caupi varia, dependendo da estirpe utilizada na sua inoculação justificando, assim, a avaliação da interação entre cultivares locais e diferentes estirpes de rizóbios, no sentido de otimizar a contribuição do processo de FBN nos diferentes agroecossistemas brasileiros.

Em relação ao ANPA, verificou-se que o controle sem inoculação, tal como verificado para a MSN, proporcionou acúmulo significativamente ($p < 0,05$) superior na cultivar BRS Guariba, sugerindo que esta cultivar apresenta maior capacidade de fixar nitrogênio que a BR 17 Gurgueia, quando em simbiose com as populações nativas de rizóbios. A estirpe UFLA 3-154, de forma similar aos resultados de NN, MSN e MSPA, proporcionou acúmulo significativamente ($p < 0,05$) superior quando inoculada na cultivar BR 17 Gurgueia (Tabela 2). Já as estirpes BR 3262 e UFLA 3-164 promoveram

acúmulos significativamente ($p < 0,05$) superiores na cultivar BRS Guariba, com aumento de 54 e 61%, respectivamente, em relação aos acúmulos obtidos na cultivar BR 17 Gurgueia inoculada com essas estirpes. Tais resultados demonstram que, ao contrário da estirpe UFLA 3-154, as estirpes BR 3262 e UFLA 3-164 apresentam maior capacidade na FBN quando em simbiose com a cultivar BRS Guariba.

Avaliando o efeito da inoculação dentro de cada cultivar, verificou-se que as estirpes UFLA 3-84, UFLA 3-154, BR 3267 e INPA 3-11B promoveram ANPA significativamente ($p < 0,05$) inferiores aos demais tratamentos, em ambas as cultivares de feijão-caupi (Tabela 2). Tal resposta pode estar relacionada à falta de adaptação dessas estirpes às condições edafoclimáticas locais. As altas temperaturas registradas durante o período experimental (Figura 1) podem ter influenciado a capacidade de sobrevivência e eficiência dessas estirpes na FBN.

Por outro lado, as estirpes UFLA 3-164 e BR 3262 inoculadas na cultivar BRS Guariba promoveram ANPA significativamente ($p < 0,05$) superior aos demais tratamentos inoculados e ao controle sem inoculação, comprovando a eficiência simbiótica dessas estirpes na cultivar de feijão-caupi (Tabela 2). Pôde-se constatar, também, que a cultivar BRS Guariba promoveu, na média geral, ANPA ($142,82 \text{ mg planta}^{-1}$) significativamente ($p < 0,05$) superior à BR 17 Gurgueia ($123,90 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 2). De acordo com esses resultados pode-se inferir que as cultivares de feijão-caupi avaliadas, além de responderem de maneira diferenciada à inoculação com estirpes de rizóbios, apresentam diferentes potenciais na FBN, fato também constatado em outros trabalhos (Xavier et al., 2006; Belane & Dakora, 2009; Vieira et al., 2010). Belane & Dakora (2009) verificaram, estudando a contribuição da FBN em 30 genótipos de feijão-caupi, em condições de campo, alta diversidade quanto ao potencial de fixação de N_2 , em que variou de $14,1$ a $157,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para as cultivares TVul509 e IT84S-2246, respectivamente.

Quanto à eficiência nodular (EFNOD), a interação entre os fatores não foi significativa ($p > 0,05$), porém houve efeito individual dos tratamentos e cultivares (Tabela 3).

Entre as cultivares, a BRS Guariba apresentou maior média ($0,44 \text{ mg mg}^{-1}$). Os tratamentos inoculados, com exceção da INPA 3-11B, promoveram EFNOD significativamente ($p < 0,05$) superiores ao controle sem inoculação sugerindo uma

Tabela 3. Valores médios da eficiência nodular (EFNOD) de estirpes e cultivares de feijão-caupi, em um Neossolo Quartzarênico no Sudoeste Piauiense

Fatores	EFNOD (mg mg^{-1})
Cultivares	
BRS Guariba	0,44 a ⁽¹⁾
BR 17 Gurgueia	0,29 b
Tratamentos	
Sem inoculação	0,30 b
UFLA 3-84	0,40 a
BR 3262	0,40 a
UFLA 3-164	0,40 a
UFLA 3-154	0,44 a
BR 3267	0,40 a
INPA 3-11B	0,23 b
CV (%)	7,56

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si, de acordo com o teste Scott-Knott, a nível de 5% de probabilidade

capacidade maior dessas estirpes em fixar o N_2 por unidade de peso de nódulos. Zilli et al. (2011), obtiveram eficiência nodular semelhante entre as estirpes BR 3262, BR 3267, SEMIA 587 e BR 29 inoculadas em feijão-caupi cultivar BRS Guariba.

Ressalta-se que a estirpe em fase de seleção UFLA 3-164 inoculada na cultivar BRS Guariba apresentou MSPA e ANPA superiores aos obtidos por três das estirpes atualmente autorizadas pelo MAPA (BRASIL, 2011) como inoculantes para feijão-caupi (INPA 3-11B, UFLA 3-84 e BR 3267) e ao controle sem inoculação. Este resultado é importante, uma vez que a cultivar BRS Guariba tem sido utilizada em vários estados do Nordeste e na região Centro-Oeste é a mais plantada e a preferida para exportação (Freire Filho et al., 2011).

Conclusões

As cultivares de feijão-caupi BR 17 Gurgueia e BRS Guariba, respondem de maneira diferenciada à inoculação com as estirpes de rizóbio.

As estirpes UFLA 3-164 e BR 3262 promovem maiores produções de massa seca da parte aérea e acúmulo de nitrogênio na parte aérea quando inoculadas na cultivar BRS Guariba.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Secretaria de Desenvolvimento da Agricultura/SDA pelo auxílio financeiro ao projeto.

Literatura Citada

- Belane, A.K.; Dakora, F.D. Measurement of N_2 fixation in 30 cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes under field conditions in Ghana, using the ^{15}N natural abundance technique. *Symbiosis*, v.48, n.1, p.47-56, 2009. <<http://dx.doi.org/10.5897/ajb11.674>>.
- Bonilla, I.; Bolaños, L. Mineral nutrition for legume-rhizobia symbiosis: B, Ca, N, P, S, K, Fe, Mo, Co, and Ni: a review. *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*, v.1, p.253-274, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-9654-9_13>.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011. <<http://www.agricultura.gov.br>>. 25 Out. 2011.
- Costa, E.M.; Nóbrega, R.S.A.; Martins, L.V.; Amaral, F.H.C.; Moreira, F.M.S. Nodulação e produtividade de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. por cepas de rizóbio em Bom Jesus, PI. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.1, p.1-7, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S180666902011000100001>>.
- Ferreira, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, n.2, p.36-41, 2008. <http://www.fadinas.org.br/symposium/12_edicoes/artigo_5.pdf>. 10 Dez. 2012.

- Ferreira, L.V.M.; Nobrega, R.S.A.; Nobrega, J.C.A.; Aguiar, F.L.; Moreira, F.M.S.; Pacheco, L.P. Biological nitrogen fixation in production of *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Family Farming in Piauí, Brazil. *Journal of Agricultural Science*; v.5, n.4, 2013. <<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n4p153>>.
- Fred, E.B.; Waksman, S.A. *Laboratory manual of general microbiology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1928. 143p.
- Freire Filho, F.R.; Lima, J.A.A.; Ribeiro, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília-DF: Embrapa Informações tecnológicas, 2005. 519p.
- Freire Filho, F.R.; Ribeiro V.Q.; Rocha, M.M.; Silva, K.J.D.; Nogueira, M.S.R.; Rodrigues, E.V. Feijão Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2011. 84p.
- Guimarães, A.A.; Jaramillo, P.M.D.; Nóbrega, R.S.A.; Florentino, L.A.; Silva, K.B.; Moreira, F.M.S. Genetic and symbiotic diversity of nitrogen fixing bacteria isolated from agricultural soils in the western Amazon by using cowpea as the trap plant. *Applied and Environmental Microbiology*, v.78, n.18, p.6726-6733, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01303-12>>
- Hartwig, U.A. The regulation of symbiotic N₂ fixation: A conceptual model of N feedback from the ecosystem to the gene expression level. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v.1, n.1, p.92-120, 1998. <<http://dx.doi.org/10.1078/1433-8319-00054>>.
- Jaramillo, P. M. D.; Guimarães, A. A.; Florentino, L. A.; Silva, K. B.; Nóbrega, R. S. A.; Moreira, F. M. S. Symbiotic nitrogen-fixing bacterial populations trapped from soils under agroforestry systems in the Western Amazon. *Scientia Agricola*, v.70, n.6, p.397-404, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000600004>>.
- Lacerda, A.M.; Moreira, F.M.S.; Andrade, M.J.B.; Soares, A.L.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. *Revista Ceres*, v.51, n.293, p.67-82, 2004. <<http://ceres.ufv.br/ceres/visao/site/onlineArtigo.php?revistaCod=50&l=1>>. 28 Nov. 2010.
- Leite, J.; Seido, S.L.; Passos, S.R.; Xavier, G.R.; Rumjanek, N.G.; Martins, L.M.V. Biodiversity of rhizobia associated with cowpea cultivars in soils of the lower half of the Sao Francisco River Valley. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.5, p.1215-1226, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500015>>.
- Liao, C.F.H. Devarda's allow methods for total nitrogen determination. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, n.5, p.852-855, 1981. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050005x>>.
- Martins, L.M.V. Características ecológicas e fisiológicas de rizóbios de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] isolados a partir de solos da região Nordeste do Brasil. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996. 213p. Dissertação Mestrado.
- Melo, S.R.; Zilli, J.E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o estado de Roraima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.9, p. 1177-1183, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000900016>>.
- Moreira, F.M.S. Nitrogen-fixing Leguminosae-nodulating bacteria. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Brussaard, L. (Eds.). *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford, CAB International Publishing, 2006. p.237-270.
- Moreira, F.M.S.; Carvalho, T.S.; Siqueira, J.O. Effect of fertilizers, lime, and inoculation with rhizobia and mycorrhizal fungi on the growth of four leguminous tree species in a low-fertility soil. *Biology and Fertility of Soils*, v.46, n.8, p.771-779, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00374-010-0477-5>>.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- Oliveira-Longatti, S.M.; Marra, L.M.; L. Soares, L.B.; Bomfeti, C.A.; Silva, K.; Avelar Ferreira, P.A.A.; Moreira, F. M. S. Bacteria isolated from soils of the western Amazon and from rehabilitated bauxite-mining areas have potential as plant growth promoters. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, v.29, n.4, p.1-12, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11274-013-1547-2>>.
- Soares, A.L.L.; Pereira, J.P.A.R.; Ferreira, P.A.A.; Vale, H.M.M.; Lima, A.S.; Andrade, M.J.B.; Moreira, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I – caupi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.5, p.795-802, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000500005>>.
- Soares, B.L.; Ferreira, P.A.A.; Oliveira-Longatti, S.M.; Marra, L.M.; Rufini, M.; Andrade, M.J.B.; Moreira, F.M.S. Cowpea symbiotic efficiency, pH and aluminum tolerance in nitrogen-fixing bacteria. *Scientia Agricola*, v.71, n.3, p.171-180, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162014000300001>>.
- Vieira, C.L.; Freitas, A.D.; Silva, A.F.; Sampaio, E.V.; Araújo, M.S. Inoculação de variedades locais de feijão-macassar com estirpes selecionadas de rizóbio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.11, p.1170-1175, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001100006>>.
- 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. *Revista Caatinga*, v.19, n.1, p.25-33, 2006. <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/9/10>>. 15 Nov. 2010.
- Zilli, J. E.; Neves, M. C. P.; Rumjanek, N. G. Signalling specificity of rhizobia isolated from nodules of Phaseoleae and Indigofereae tribes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.70, n.4, p.743-750, 1998.
- Zilli, J.E.; Silva Neto, M.L.; França Júnior, I.; Perin, L.; Melo, A.R. Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.3, p.739-742, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300009>>.