



**POLYANE SANTOS DE CASTRO CAPUTO**

**SIMBIOSE ENTRE ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* ISOLADAS  
DE *Campsiandra laurifolia* E PLANTAS DE SOJA, GUANDU E  
FEIJÃO-CAUPI**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**POLYANE SANTOS DE CASTRO CAPUTO**

**SIMBIOSE ENTRE ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* ISOLADAS DE *Campsiandra laurifolia* E PLANTAS DE SOJA, GUANDU E FEIJÃO-CAUPI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

**POLYANE SANTOS DE CASTRO CAPUTO**

**SIMBIOSE ENTRE ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* ISOLADAS DE *Campsiandra laurifolia* E PLANTAS DE SOJA, GUANDU E FEIJÃO-CAUPI**

**SYMBIOSIS BETWEEN *Bradyrhizobium* STRAINS ISOLATED FROM *Campsiandra laurifolia* AND SOYBEAN, PIGEON-PEA AND COWPEA PLANTS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 12 de novembro de 2021.

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira – UFLA.

Ma. Daniele Cabral Michel – UFLA.

Ma. Jordana Luísa de Castro – UFLA.

Profa. Dra. Fatima Maria de Souza Moreira  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, por manter a minha fé e a minha força, mesmo em meio às adversidades.

Aos meus pais, Rinaldo e Regina, por todo amor, cuidado e paciência. Por serem a minha base, me ensinarem a ser quem sou, me apoiarem incondicionalmente e não medirem esforços pela minha felicidade.

À professora Fatima Maria de Souza Moreira, pelas oportunidades e ensinamentos ao longo desses anos de orientação.

Ao meu primo Pedro, por todo apoio e companheirismo.

Aos meus familiares, pelo incentivo, carinho e dedicação.

Aos meus amigos, por estarem sempre ao meu lado e fazerem essa jornada mais leve e feliz.

A todos que me ajudaram ao longo dessa trajetória. Gratidão!

## RESUMO

O nitrogênio (N) é um nutriente exigido em grande quantidade pelas plantas, porém, apresenta alto custo e é facilmente perdido por volatilização ou lixiviação. Uma alternativa sustentável e de baixo custo para o suprimento desse nutriente é a fixação biológica, que contribui para o crescimento e desenvolvimento de plantas. O gênero de bactérias fixadoras de nitrogênio *Bradyrhizobium* estabelece simbiose com várias espécies de leguminosas e representa a maioria das estirpes atualmente aprovadas como inoculantes pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para espécies forrageiras, adubos verdes, florestais e grãos. Dentre essas, destacam-se a soja [*Glycine max* (L.) Merr.], guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] e feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. O objetivo deste trabalho foi avaliar a simbiose entre estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de *Campsiandra laurifolia* Benth. e plantas de soja, guandu e feijão-caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Microbiologia do Solo, localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras/MG, no período de julho a agosto de 2019, em condições axênicas, sob delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas estirpes UFLA 01-1174<sup>T</sup> e UFLA 01-1175, recém descritas como uma nova espécie – *B. campsiandrae*; e quatro estirpes nodulíferas das espécies vegetais testadas: UFLA 03-164<sup>T</sup>, UFLA 03-153 – de *B. uaiense* em feijão-caupi; BR 2801 – *Bradyrhizobium sp.* em guandu; BR 29 – *B. elkanii* em soja, sendo todas estas 4 como controles positivos, além de controles negativos sem inoculação (com e sem adição de N). Avaliou-se a matéria seca da parte aérea (MSPA), o número de nódulos (NN) e a matéria seca de nódulos (MSN). Para MSPA, o controle negativo com adição de N foi superior para as três culturas. As estirpes de *B. campsiandrae* não foram capazes de estabelecer simbiose com nenhuma das leguminosas testadas. Como esperado, as estirpes utilizadas como controle positivo nodularam as respectivas espécies, assim como os controles negativos não apresentaram nódulos. Em soja, a estirpe UFLA 03-153 se destacou por apresentar resultados de NN e MSN semelhantes ao controle positivo (BR 29) para essa cultura. Em guandu, as estirpes UFLA 03-164<sup>T</sup> e UFLA 03-153 apresentaram NN estatisticamente semelhantes e foram superiores à BR 2801; já para a variável MSN, a estirpe UFLA 03-153 apresentou resultado superior, seguida da estirpe UFLA 03-164<sup>T</sup>.

**Palavras-chave:** *Bradyrhizobium*. Fixação Biológica de Nitrogênio. Estirpes bacterianas.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Importância das leguminosas .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Soja .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Guandu.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Feijão-caupi .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).....</b>	<b>11</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Condições experimentais e preparo dos inóculos bacterianos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Procedimentos experimentais e tratamentos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Coleta, amostragem e análises do material vegetal .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4 Análise estatística .....</b>	<b>14</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>19</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>20</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes para o desenvolvimento das plantas, fazendo parte de proteínas, ácidos nucleicos e outros constituintes celulares. Porém, o N se torna um fator limitante para a produção agrícola, pois, embora presente em grande concentração na atmosfera na forma de  $N_2$  (78%), nenhum animal ou vegetal consegue assimilá-lo diretamente, devido à estabilidade da tripla ligação existente entre os dois átomos.

A transformação do  $N_2$  às formas assimiláveis pode ser realizada através de três processos: fixação atmosférica, fixação industrial e fixação biológica. A fixação atmosférica refere-se às descargas elétricas, que ocorrem naturalmente. A fixação industrial refere-se à produção de fertilizantes nitrogenados, que requerem o uso de combustíveis fósseis, de elevadas temperatura e pressão no processo de fabricação, tornando-os muito caros. Já a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo natural, mediado por uma parcela dos procariotos conhecidos como bactérias fixadoras de nitrogênio, que podem viver em simbioses com plantas hospedeiras, livremente no solo ou em associações (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Estes microrganismos, por meio da enzima nitrogenase, reduzem o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) para a forma inorgânica combinada  $NH_3$  (amônia), que poderá ser absorvida pelas plantas e/ou microrganismos.

O uso de fertilizantes nitrogenados de maneira intensiva e inadequada pode acarretar sérios problemas ambientais e, conseqüentemente, queda na produtividade, além de serem muito caros para os produtores. Apesar da contribuição dos processos industriais, a FBN desempenha papel importante no aporte de N nos sistemas agrícolas, contribuindo com a maior parte do N no solo, principalmente em sistemas com leguminosas. Esse processo pode aumentar a produtividade, reduzir o custo de produção, diminuir o uso de combustíveis fósseis e reduzir a poluição do solo, água e atmosfera, contribuindo para a sustentabilidade na agricultura.

Em leguminosas, as bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas (BFNN) interagem com o sistema radicular da planta hospedeira, por meio do desenvolvimento de estruturas denominadas nódulos, onde ocorre a fixação do nitrogênio atmosférico. Esta interação caracteriza-se por uma simbiose, em que a BFNN é beneficiada pelo suprimento de fotossintatos fornecido pela planta hospedeira, a qual recebe o N fixado pela BFNN na forma amoniacal, por meio da enzima nitrogenase. Além disso, as leguminosas podem ser utilizadas na alimentação humana, animal e podem servir de cobertura e fonte de matéria orgânica para o solo, além da fixação de  $N_2$ , assumindo grande importância na agricultura. De acordo com Moreira (1994), a simbiose entre leguminosas e BFNN pode dispensar, total ou parcialmente,

a adubação nitrogenada e, além disso, contribuir para o desenvolvimento de outras espécies consorciadas ou em sucessão.

O gênero de bactérias fixadoras de nitrogênio *Bradyrhizobium* se destaca por estabelecer simbiose eficiente com diversas espécies de leguminosas. Além disso, representa a maioria das estirpes aprovadas como inoculantes pelo MAPA para espécies forrageiras, adubos verdes, florestais e grãos. Destas, a soja [*Glycine max* (L.) Merr.], guandu [*Cajanus cajan* (L) Millsp.] e feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] se destacam devido à importância agrícola. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência simbiótica de plantas de soja, guandu e feijão-caupi em resposta à inoculação com diferentes estirpes bacterianas pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium*.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância das leguminosas

As plantas da família Fabaceae são popularmente conhecidas como leguminosas. Fabaceae é a terceira maior família botânica de angiospermas, após Asteraceae e Orchidaceae (CARNEIRO *et al.*, 2013); possui ampla distribuição, apresenta mais de 650 gêneros e, aproximadamente, 18.000 espécies (BARELLA & KARSBURG, 2007). Uma característica típica dessas plantas é apresentar frutos do tipo legume, ou seja, grãos contidos em vagens (havendo variações e exceções).

As leguminosas são muito importantes como fonte de nitrogênio na agricultura, na recuperação de solos degradados, na adubação verde e na pecuária e, ainda, são fonte de proteína para a alimentação humana e animal (FONTENELE *et al.*, 2009). A grande competitividade dessa família é atribuída à sua capacidade de se associar simbioticamente com bactérias fixadoras de nitrogênio (FRANCO *et al.*, 2011). De acordo com Moreira (1994), a simbiose entre leguminosas e bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas (BFNN) pode dispensar, total ou parcialmente, a adubação nitrogenada e, além disso, contribuir para o desenvolvimento de outras espécies consorciadas ou em sucessão.

O gênero de bactérias fixadoras de nitrogênio *Bradyrhizobium* se destaca por estabelecer simbiose eficiente com diversas espécies de leguminosas e representa a maioria das estirpes aprovadas como inoculantes pelo MAPA para espécies forrageiras, adubos verdes, florestais e grãos. Destas, a soja [*Glycine max* (L.) Merr.], guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] e feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] se destacam devido à importância agrícola.

### 2.2 Soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma cultura de destaque no cenário mundial de grãos, sendo considerada, atualmente, uma *commodity* no Brasil (ROCHA *et al.*, 2018). A soja se tornou a principal cultura do agronegócio brasileiro e o país passou a ser o maior produtor mundial do grão, superando os Estados Unidos (EMBRAPA, 2021). Segundo dados da CONAB, a produção brasileira em 2020 foi de 124,845 milhões de toneladas (t). O estado do Mato Grosso é o maior produtor nacional (35,885 milhões de t), seguido pelo Paraná (21,598 milhões de t), Rio Grande do Sul (11,444 milhões de t) e Goiás (13,159 milhões de t) (CONAB, 2021). Seu cultivo é realizado em extensas áreas e, devido adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, estes grãos são produzidos em quase todos os estados do território nacional.

A cultura possui características que ajudaram na sua popularização como, por exemplo, seu alto valor nutricional, sendo importante fonte proteica para a alimentação humana e animal. Além disso, o grão de soja possui grande variedade de usos, seja na indústria alimentícia, química, produção de biodiesel, dentre outros.

No Brasil, a sojicultura seria economicamente inviável se os produtores tivessem que aplicar o nitrogênio necessário para suprir as demandas da planta. Contudo, todo nitrogênio que a planta necessita é suprido por meio da fixação biológica, onde bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se associam ao sistema radicular da soja, estabelecendo importante simbiose, dispensando totalmente a adubação nitrogenada na cultura (HUNGRIA *et al.*, 2001).

### 2.3 Guandu

O guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae. Também conhecido como andu, feijão-andu, guando, feijão-guando, esta cultura é originária da Índia (PROVAZI *et al.*, 2007) e apresenta grande importância agrícola em países da América Latina, Ásia e África. No Brasil, há indícios que essa leguminosa foi introduzida por meio dos escravos que vieram da África e se tornou altamente distribuída na região tropical do país (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

O guandu é uma das espécies de leguminosas mais cultivadas em países tropicais e subtropicais (HAAG, 1986). Mundialmente falando, o feijão-guando é cultivado em 5,32 milhões de hectares, com produção anual de 4,33 milhões de toneladas e produtividade média de 1.354,9 kg. ha<sup>-1</sup> (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2019). Os principais países produtores são Índia, Mianmar, Tanzânia, Malawi, Quênia e Uganda. A Índia se destaca como maior produtor com 3,86 milhões de ha cultivados e totalizando 75% da produção mundial.

Essa leguminosa apresenta elevado valor nutritivo, boa adaptação a solos salinos e de baixa fertilidade, e é resistente à baixa precipitação pluviométrica e altas temperaturas, se tornando uma excelente opção para a região nordeste do Brasil (PAZ *et al.*, 2000;). A faixa de pH do solo à qual o guandu é adaptado é ampla (5 e 8), no entanto, seu melhor desenvolvimento acontece em solos com pH próximo da neutralidade (SOUZA *et al.*, 2007). Além do mais, o mesmo tem a capacidade de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio, recebendo a maior parte do nitrogênio para seu desenvolvimento por meio da FBN (ESPANÃ; CABRERA BISBAL; LÓPEZ, 2006).

## 2.4 Feijão-caupi

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma leguminosa que oferece elevado valor proteico, além de possuir todos os aminoácidos essenciais, ultrapassando as propriedades nutritivas do feijão comum (FREIRE FILHO *et al.*, 2005). Em decorrência disto, é cultivado principalmente para a produção de grãos secos ou verdes, visando a utilização *in natura*, forma de conserva ou desidratado. O caupi também pode ser utilizado como forragem verde, ensilagem, feno, farinha para alimentação animal, adubo verde e proteção contra solo (FREITAS *et al.*, 2013). Seu cultivo, muitas vezes, é de caráter de sobrevivência, sendo feito por pequenos produtores rurais, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde consiste no segundo maior mercado de feijão-caupi fora da África (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

O feijão-caupi é uma das leguminosas graníferas mais adaptável a diferentes condições ambientais, pois o mesmo possui genes de resistência a estresses, conferindo-lhe grande adaptação edafoclimática e alta capacidade de fixar N por meio da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (GUALTER *et al.*, 2011).

## 2.5 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Porém, nenhum animal ou vegetal consegue assimilá-lo diretamente. No solo, apenas de 2% a 3% do N total são mineralizados e esta fração ainda está sujeita a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação, além da imobilização e adsorção (CANTARELLA, 2007; REIS *et al.*, 2006).

A FBN é um processo natural, mediado por bactérias fixadoras de nitrogênio, que por meio da enzima nitrogenase, reduzem o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) para a forma inorgânica combinada NH<sub>3</sub>, que poderá ser absorvida pelas plantas e/ou microrganismos.

A FBN desempenha papel importante no aporte de N nos sistemas agrícolas, contribuindo com a maior parte do N no solo, principalmente em sistemas com leguminosas. Esse processo pode aumentar a produtividade, reduzir o custo de produção, diminuir o uso de combustíveis fósseis e reduzir a poluição do solo, água e atmosfera, contribuindo para a sustentabilidade na agricultura.

A eficiência das bactérias fixadoras de nitrogênio que constituem simbiose com leguminosas e sua aptidão de sobreviver e desenvolver nódulos no solo, depende de fatores genéticos dos simbiossiontes e da interação com fatores edafoclimáticos (LIMA *et al.*, 2005), como pH, temperatura, teores de alumínio e matéria orgânica, competição com outros

microrganismos existentes no solo, dentre outros. A população das bactérias fixadoras de nitrogênio no solo pode ser extremamente diversificada, tanto na composição como nas características simbióticas, possuindo uma grande diversidade taxonômica (FEITOZA *et al.*, 2015).

Os microrganismos capazes de induzir nódulos em leguminosas pertencem ao filo *Proteobacteria* ( $\alpha$ -proteobacteria e  $\beta$ -proteobacteria), os quais estão distribuídos em 15 gêneros: *Allorhizobium*, *Rhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Microvirga*, *Sinorhizobium* (Ensifer), *Devosia*, *Methylobacterium*, *Ochrobactrum*, *Phyllobacterium*, *Shinnella*, *Aminobacter*, *Cupriavidus* e *Burkholderia* (PEIX *et al.*, 2015).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Condições experimentais e preparo dos inóculos bacterianos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Microbiologia do Solo, localizado no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, em Lavras/MG, no período de julho a agosto de 2019.

Foram utilizadas plantas de soja, feijão-caupi e guandu. As estirpes testadas foram: UFLA 03-164<sup>T</sup>, UFLA 03-153, descritas como *Bradyrhizobium uaiense* (MICHEL *et al.*, 2020) e UFLA 01-1174<sup>T</sup> e UFLA 01-1175, descritas como *Bradyrhizobium campsiandrae* (MICHEL *et al.*, 2021), pertencentes à coleção do Setor de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo (UFLA). Como controles positivos, foram utilizadas as estirpes: BR 29, para a cultura da soja; BR 2801, para o guandu e UFLA 03-164<sup>T</sup>, para o feijão-caupi.

As estirpes de *Bradyrhizobium* foram crescidas, individualmente, em meio de cultura líquido 79 (FRED E WAKSMAN, 1928) e incubadas a 28 ° C sob agitação constante de 150 r.p.m., respeitando-se o tempo de crescimento de cada uma.

### 3.2 Procedimentos experimentais e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com três repetições por tratamento. Para o cultivo, utilizaram-se garrafas recicladas do tipo “long neck” (500 mL), revestidas com papel alumínio e preenchidas com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950). Em cada garrafa foram colocadas duas fitas de papel filtro, que serviram de suporte para as raízes e promoveram a ascensão da solução nutritiva por capilaridade. Posteriormente, todas as garrafas foram autoclavadas por 40 minutos.

A desinfestação superficial das sementes de soja, guandu e feijão-caupi foi realizada com álcool etílico 98,2°, por 30 segundos e hipoclorito de sódio a 2%, por 2 minutos. Em seguida, as sementes foram lavadas com água destilada esterilizada para a retirada de resíduos dos tratamentos anteriores. Após esses procedimentos, as sementes foram imersas em água destilada esterilizada e, posteriormente, foram colocadas para germinar em placas de Petri contendo papel filtro e algodão umedecidos e esterilizados, a 28 °C, em câmara de crescimento.

Os inoculantes foram preparados em tubos de vidro com meio líquido 79, aos quais se adicionou uma alçada de células bacterianas e, em seguida, foram deixados sob agitação, por 4 dias, a 28 °C, para crescimento. Em cada tratamento inoculado foi adicionado 1 mL do

inoculante sobre a semente. Nos controles sem inoculação (com e sem adição N) foi adicionado apenas 1 mL de meio líquido 79.

### **3.3 Coleta, amostragem e análises do material vegetal**

Trinta dias após a emergência, as plantas foram coletadas para a análise do material vegetal. A parte aérea foi separada das raízes em corte no ponto de inserção cotiledonar, próximo à base do caule; os nódulos também foram destacados das raízes e contados. Em seguida, nódulos, raízes e parte aérea foram colocados em sacos de papel e conduzidos para secagem em estufa com circulação forçada de ar à 60-70 °C, por aproximadamente 72 horas, até atingirem peso constante.

Para avaliação dos tratamentos, foram determinados: número de nódulos (NN), através da contagem dos nódulos após estes serem destacados da raiz; matéria seca de nódulos (MSN), por meio da pesagem dos nódulos após a secagem dos mesmos; matéria seca da parte aérea (MSPA), por meio da pesagem da parte aérea (caule e folhas) seca das plantas após separação da raiz.

### **3.4 Análise estatística**

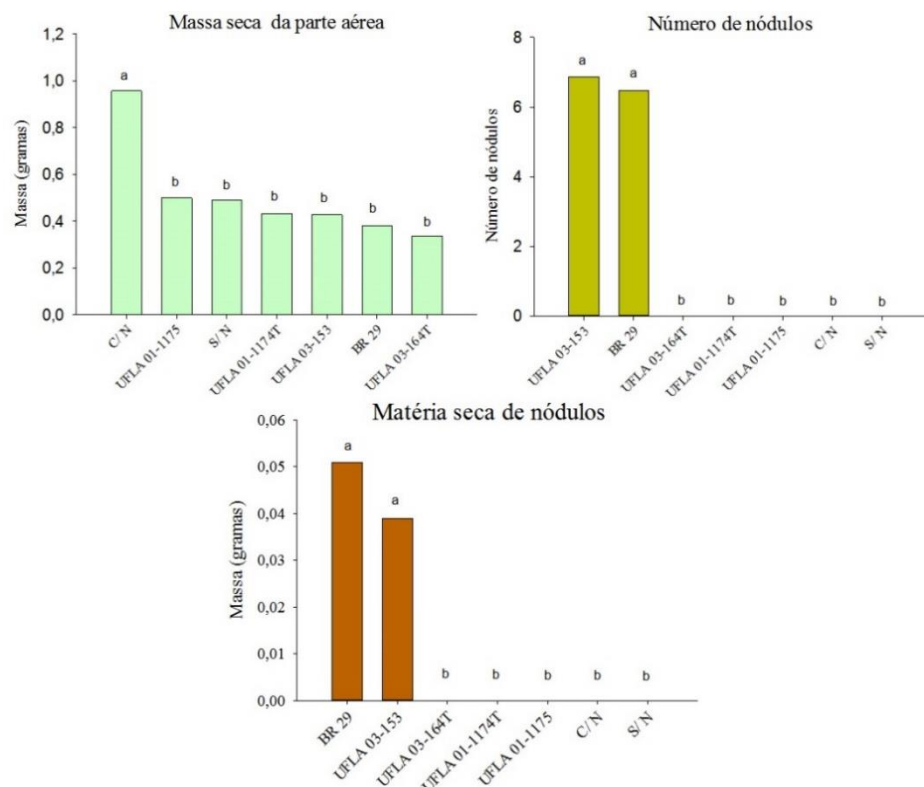
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi verificada a presença de nódulos nos controles negativos (com e sem adição de N mineral), indicando que não houve contaminação do experimento. As estirpes de *B. campsiandrae* (UFLA 01-1174<sup>T</sup> e UFLA 01-1175) não foram capazes de estabelecer simbiose com nenhuma das três culturas testadas. No entanto, em experimento com outra espécie promiscua – siratro (*Macroptilium atropurpureum*) – apresentaram nódulos (MOREIRA *et al.*, dados não publicados). Provavelmente devido ao curto período de condução do experimento, com exceção do tratamento com N mineral que se destacou, não houve diferença significativa na MSPA entre os demais tratamentos para todas as espécies.

Para a cultura da soja, a estirpe UFLA 03-153 apresentou NN e MSN semelhantes ao observado no tratamento inoculado com a estirpe referência (BR 29), sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si (Figura 1).

Figura 1 – MSPA, NN e MSN em plantas de soja inoculadas com estirpes *Bradyrhizobium*.



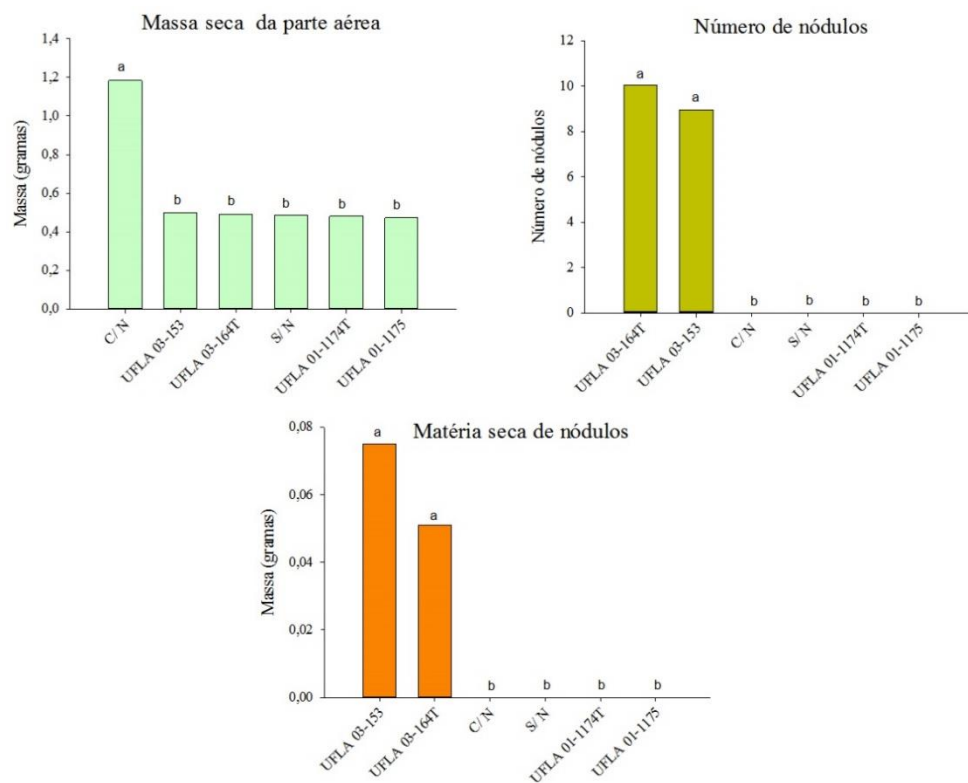
Fonte: Da autora (2021).

No Brasil, a inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium* em soja eliminou completamente a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos; todo o N exigido pela planta

é fornecido pelas bactérias. Além de sua capacidade de fixação de nitrogênio, várias estirpes bacterianas do gênero *Bradyrhizobium* apresentam outras funções importantes que promovem o crescimento vegetal, como a solubilização de diferentes formas de fosfato e a produção de ácido indolacético (MARRA *et al.* 2011; OLIVEIRA-LONGATII *et al.* 2014).

Em feijão-caupi, a estirpe UFLA 03-153 apresentou maior valor para a variável MSN, seguida da estirpe UFLA 03-164<sup>T</sup>, sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si. Para NN, as estirpes UFLA 03-164<sup>T</sup> e UFLA 03-153 foram superiores e estatisticamente semelhantes. Para a variável MSPA, o controle com adição de N foi o mais eficiente (Figura 2).

Figura 2 – MSPA, NN e MSN em plantas de feijão-caupi inoculadas com estirpes *Bradyrhizobium*.



Fonte: Da autora (2021).

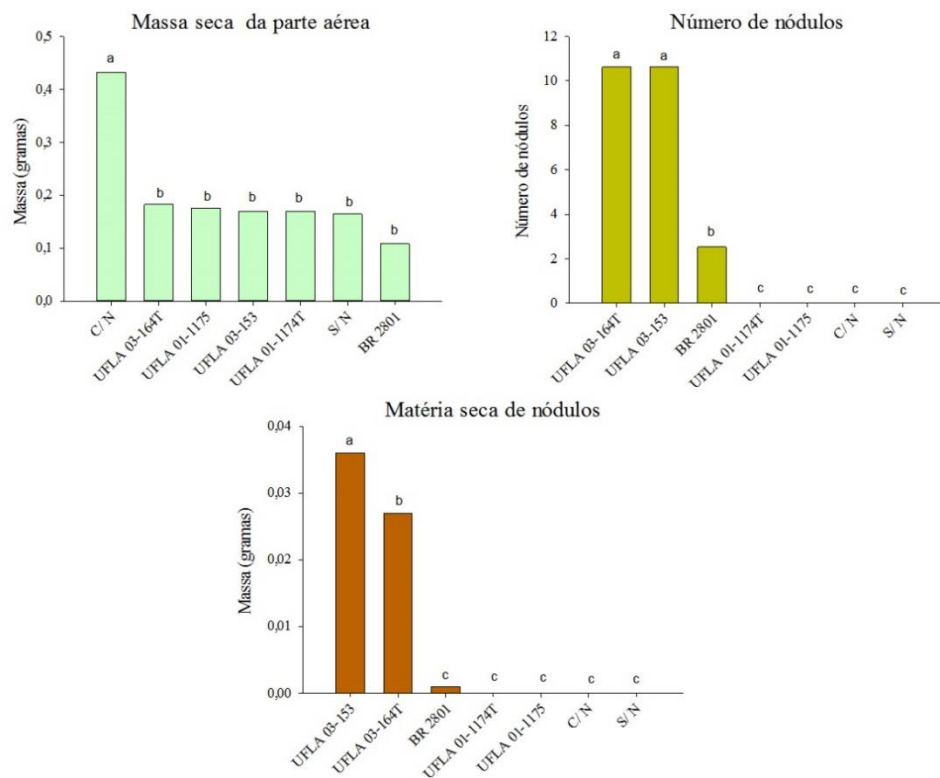
Os maiores valores de NN e MSN nos tratamentos com as estirpes UFLA 03-153 e UFLA 03-164<sup>T</sup> corroboram com Soares *et al.* (2014), que avaliaram a eficiência simbiótica



destas estirpes no feijão-caupi em condições axênicas e em vasos cheios de solo. Farias et al. (2016), em experimentos de campo no Maranhão, mostraram que as estirpes UFLA 03-153 e UFLA 03-164<sup>T</sup> são mais eficientes na fixação de nitrogênio do que as estirpes aprovadas pelo MAPA como inoculantes do feijão-caupi (UFLA 03-84 e INPA 03-11B). Outros autores também encontraram resultados semelhantes em experimentos de campo (COSTA *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2012). Oliveira-Longatti et al. (2013) mostraram a resistência das estirpes UFLA 03-153 e UFLA 03-164<sup>T</sup> a onze antibióticos *in vitro*, o que pode torná-las mais competitivas no ecossistema do solo e explicar a boa adaptação de ambas. Estas estirpes foram recentemente descritas como uma nova espécie: *Bradyrhizobium uaiense* (MICHEL *et al.*, 2020).

Em guandu, as estirpes UFLA 03-164<sup>T</sup> e UFLA 03-153 foram estatisticamente semelhantes e apresentaram os maiores valores para NN, superando a estirpe referência (BR 2801). Em relação a MSN, a estirpe UFLA 03-153 mostrou resultado superior, seguida da estirpe UFLA 03-164<sup>T</sup> (Figura 3).

Figura 3 – MSPA, NN e MSN em plantas de guandu inoculadas com estirpes *Bradyrhizobium*.



Fonte: Da autora (2021).

Estes resultados corroboram aqueles apresentados por Rufini et al. (2014), cujo objetivo foi avaliar a eficiência simbiótica de estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero

*Bradyrhizobium* com guandu-anão. Para isso, os autores conduziram experimentos em vasos e em campo. Testando 11 estirpes e comparando-as com dois controles positivos (BR 2003 e BR 2801) e duas testemunhas sem inoculação. De acordo com os autores, algumas estirpes proporcionaram crescimento vegetal semelhante ou superior às estirpes-referência e às testemunhas em vaso Leonard. Entretanto, no campo, não houve diferença entre os tratamentos, e as estirpes nativas promoveram bom crescimento.

## 5 CONCLUSÃO

A estirpe UFLA 03-153 de *Bradyrhizobium uaiense* apresentou bom desempenho, estabelecendo simbiose com as plantas de soja, guandu e feijão-caupi. As estirpes da nova espécie proposta *Bradyrhizobium campsiandrae* não nodularam nenhuma das espécies.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se a realização de trabalhos futuros conduzidos em solo, para avaliar a eficiência simbiótica da estirpe UFLA 03-153 em soja, como já vem sendo realizado para as demais culturas (feijão-caupi e guandu) com as estirpes UFLA 03-164<sup>T</sup> e UFLA 03-153, pelo setor de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos Solo (UFLA). Além disso, para melhor entender a capacidade de nodulação das estirpes UFLA 01-1174<sup>T</sup> e UFLA 01-1175, vê-se a importância da realização de novos trabalhos com uma gama maior de espécies de leguminosas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. L. G.; ALCÂNTARA, R. M. C. M.; NÓBREGA, R. S. A.; LEITE, L. F. C.; SILVA, J. A. L.; NÓBREGA, J. C. A. (2010). Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 5(3): 364-366.
- BARELLA, A. P. W.; KARSBURG, I. V. (2007). Caracterização morfológica dos cromossomos mitóticos de *Parkia pendula* (WILLD.) BENTH ex WALP. **Revista de Ciências Agroambientais** v. 5, n. 1, p. 85-93.
- BRITO, M. D. M. P., MURAOKA, T., & DA SILVA, E. C. (2011). Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, 70(1), 206-215.
- BOTTOMLEY, P. J.; MYROLD, D. D. Biological N Inputs. In: **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. 4 ed., ch. 15, 2015, p. 447-470.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira - grãos**: oitavo levantamento, maio 2019 – safra 2018/2019. :Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>>. Acesso em: 16 de agosto 2021.
- COSTA, E. M.; NÓBREGA, R. S. A.; MARTINS, L. V.; AMARAL, F. H. C.; MOREIRA, F. M. S. (2011). Yield and nodulation of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. inoculated with rhizobia strains in Bom Jesus, PI. **Revista Ciência Agrônômica** 42: 1-7 (in Portuguese, with abstract in English).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produtos e serviços**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1823/soja---brs-1001ipro>>. Acesso em: 15 de agosto 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de Produção: Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima**. 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradodeRoraima/clima.htm>>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.
- ESPAÑA, M.; CABRERA BISBAL, E.; LÓPEZ, M. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from venezuelan savannas using <sup>15</sup>N. **Interciencia, Catanduva**, v. 31, n. 3, p. 197-201, 2006.
- FARIAS, T. P.; TROCHMANN, A.; SOARES, B. L.; MOREIRA, F. M. S. (2016). Eficiência simbiótica de cepas de rizóbia com feijão-caupi no sul do Maranhão. **Rev Caatinga**, 29: 611-618.
- FERREIRA, P. A. A.; BOMFETI, C. A.; SOARES, B. L.; MOREIRA, F. M. S. (2012). Efficient nitrogen-fixing *Rhizobium* strains isolated from amazonian soils are highly tolerant to acidity and aluminium. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 28:1947-1959.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

FONTENELE, A. C. F.; ARAGÃO, W. M.; RANGEL, J. H. A.; ALMEIDA, S. A. (2009) Leguminosas tropicais: *Desmanthus virgatus* (L.) Willd. Uma forrageira promissora: **Revista Brasileira Agrociência** v. 15, p. 121-123.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. Palestras... Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 24 f. 1 CD ROM., 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; VIANA, F. M. P.; RIBEIRO, V. Q. (2005). Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica p. 519**.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. (2011). Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. **Teresina: Embrapa Meio-Norte p. 84**.

FREITAS, R. M. O.; TORRES, S. B.; NOGUEIRA, N. W.; LEAL, C. C. P.; FARIAS, R. M. (2013). Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em qualidade de sementes de feijão-caupi em função de sistemas de plantio e estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 370-376.

GUALTER, R. M. R.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R.; XAVIER, G. R. (2011). Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré Amazônia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 46, n. 3, p. 303-308.

GUIMARÃES, A. A., JARAMILLO, P. M. D., NÓBREGA, R. S. A., FLORENTINO, L. A., SILVA, K. B., MOREIRA, F. M. S. (2012). Genetic and symbiotic diversity of nitrogen-fixing bacteria isolated from agricultural soils in the Western Amazon by using cowpea as the trap plant. *Appl. Environ. Microbiol.* 78, 6726-6733.

HAAG, H. P. O guandu como planta forrageira. In: Forragens na seca: algaroba, guandu e palma forrageira. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 25- 104.

HUNGRIA, M., CAMPO, R. J., & MENDES, I. D. C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica** (INFOTECA-E).

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 de feijão caupi. **Revista Ceres, Viçosa**, 2004.

LIMA, A. S.; PEREIRA, J. P. A. R.; MOREIRA, F. M. S. (2005). Phenotypic diversity and symbiotic efficiency of *Bradyrhizobium* spp. strains from Amazonian soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 40, n. 11, p. 1095-1104.

MARRA, L. M.; OLIVEIRA, S. M.; SOARES, C. R. F. S.; MOREIRA, F. M. S. (2011). Solubilisation of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Sci Agric** (Piracicaba, Braz.) 68:603–609

MICHEL, D. C., GUIMARÃES, A. A., DA COSTA, E. M., DE CARVALHO, T. S., BALSANELLI, E., WILLEMS, A., ... & DE SOUZA MOREIRA, F. M. (2020).

*Bradyrhizobium uaiense* sp. nov., a new highly efficient cowpea symbiont. **Archives of Microbiology**, 1-7. doi:10.1007/s00203-020-01827-w.

MICHEL, D. C., COSTA, E. M., GUIMARÃES, A. A., CARVALHO, T. S., WILLEMS, A., MOREIRA, F. M. S. (2021). *Bradyrhizobium campsiandrae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterial strain isolated from a native 2 leguminous tree from the Amazon adapted to flooded conditions. **Archives of Microbiology**, vol. 203, no. 1, 2021, pp. 233–40. doi: 10.1007/s00203-020-02022-7.

MOREIRA, F. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em espécies arbóreas. In: Araújo, R. S.; Hungria, M. (Ed.). **Microrganismo de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.

MOREIRA, F. M. S. Bactérias fixadoras de nitrogênio que nodulam leguminosae. In: Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O.; Brussaard, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A. S.; BERNARDES, C. O. (2012). Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia biosfera** Centro Científico Conhecer 8: 2121-2131.

OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; SOARES, B. L.; BOMFETI, C. A.; SILVA, K.; 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**, 2013.

PAZ, L. G. et al. Efeito do nitrogênio e estirpes de *Bradyrhizobium* na fixação do nitrogênio e desenvolvimento do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) cv. Fava Larga. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v. 2, n. 1, p. 96- 106, 2000.

PEIX, A. et al. Bacterial Associations with Legumes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. November 2014, p. 17–42, 2015.

PROVAZI, M. et al. Descrição botânica de linhagens puras selecionadas de guandu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 328-334, mar./abr. 2007.

REIS, V. M. et al. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: Fernandes, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006. p. 153-172.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. (2003). Use of green manures in Increase inputs of biological nitrogen fixation to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**. v. 37, p. 215-220.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen Transformations. In: **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. 4 ed., ch. 15, 2015, p. 421-446.

ROCHA, B. G. R., et al. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 41, n. 2, 2018.

RUFINI, M.; OLIVEIRA, D.P.; TROCHMANN, A.; SOARES, B.L.; ANDRADE, M.J.B.; & MOREIRA, F.M.S. (2014). Estirpes de *Bradyrhizobium* em simbiose com guandu-anão em casa de vegetação e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(3), 197-206. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300006>

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. S. LEGUMINEIR. A cultura forrageira para produção de proteína. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1983. 52 p. (Circular Técnica, 13).

SOARES, B. L.; FERREIRA, P. A. A.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; RUFINI, M.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. (2014). Cowpea symbiotic efficiency, pH and aluminum tolerance in nitrogen-fixing bacteria. **Sci Agric** 71:171–180

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: **Nutrição mineral de plantas**. 1 ed, Viçosa, 2006, p. 215-252.

SOUZA, F. H. D. et al. Produção de sementes de guandu. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2007. 68 p. (Documentos, 69).

VALARINI, M. J., & GODOY, R. (1994). Contribuição da fixação simbiótica de nitrogênio na produção do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). **Scientia Agricola**, 51(3), 500-504.