



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – POSAGRO

KELTER SANTOS CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM FUNÇÃO DO  
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO VIA FBN E/OU ADUBAÇÃO  
MINERAL EM SOLO DE SAVANA DE RORAIMA

BOA VISTA  
RORAIMA – BRASIL

2011

KELTER SANTOS CARVALHO

**DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM FUNÇÃO DO  
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO VIA FBN E/OU ADUBAÇÃO  
MINERAL EM SOLO DE SAVANA DE RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa

Co-Orientador: Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo

BOA VISTA  
RORAIMA – BRASIL

2011

## Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C331d Carvalho, Kelter Santos.

Desenvolvimento do feijão-caupi em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ ou adubação mineral em solo de savana de Roraima / Kelter Santos Carvalho. – Boa Vista-RR, 2011.

46f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-graduação em Agronomia.

1 – *Vigna unguiculata* (L) Walp 2 – Fixação biológica de nitrogênio. 3 – Savana. 4 – Solos. I - Título. II.- Uchôa, Sandra Cátia Pereira (orientadora).

CDU – 635.652

KELTER SANTOS CARVALHO

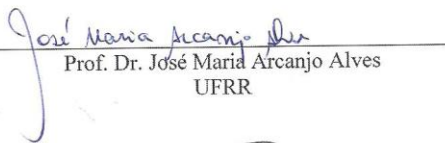
*DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI EM FUNÇÃO DO  
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO VIA FBN E/OU ADUBAÇÃO  
MINERAL EM SOLO DE SAVANA DE RORAIMA*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.  
Área de Concentração: Produção Vegetal.

Aprovada: 29 de abril de 2011



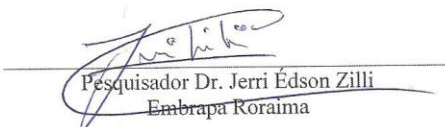
Profª Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa  
Orientadora – UFRR



Prof. Dr. José Maria Arcanjo Alves  
UFRR



Prof. Dr. Wellington Farias Araújo  
UFRR



Pesquisador Dr. Jerri Édson Zilli  
Embrapa Roraima

**DEDICATÓRIA**

Aos meus queridos pais, Carvalho e Fátima,  
Aos meus irmãos Luinard e Carlece.

Dedico este trabalho

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sabedoria concedida e por tudo que tenho conseguido.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal da Universidade Federal de Roraima, pela formação e firmamento da vida acadêmica.

À Universidade Federal de Roraima e EMBRAPA Roraima, por me acolherem em mais uma jornada da minha vida acadêmica e pela realização deste curso.

À minha família, pela educação, carinho, amizade, paciência e motivação na minha formação profissional.

A Profa. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa, pela orientação, amizade, contribuindo para meu aprendizado e amadurecimento além do incentivo, confiança e contribuição na execução deste trabalho.

Aos Professores Dr. Valdinar Ferreira Melo e Dr. José Maria Arcanjo Alves pelas importantes contribuições.

Aos membros da banca de avaliação pela contribuição na melhoria da dissertação.

A técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRR Semiramys Moreira pela grande colaboração e amizade.

A todos os professores do programa de Mestrado pelo conhecimento passado e grandioso incentivo.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos bolsistas de iniciação científica do PICI - Rafael e PET/AGRO - Hugo, pela ajuda em todo o trabalho dos experimentos realizados, como também nossa querida colega Luciana Baú que participou diretamente neste trabalho, meus sinceros muito obrigado pela ajuda, amizade, companhia de todos vocês.

A turma “Somos o progresso da ciência” do mestrado – Angelica, Edson, Marcio, Marcos Prill e Katherine, pelo convívio nas disciplinas, no grupo de estudo e em todo tempo que passamos juntos estudando neste curso.

Aos servidores da UFRR/CCA, ajudantes de campo e alunos do curso de Agronomia, pelo inestimável apoio e convívio.

Aos meus queridos amigos Denisson Cruz, Gleydson Lima, Geiza Silva e em especial Esthefany Watson, minha namorada, pela ajuda, torcida, pelas palavras de incentivo e de alegria para continuar nos estudos e concluir este curso.

Ao PROCAD (Programa de Cooperação Acadêmica) pelo financiamento da parte da dissertação e apoio financeiro.

A todos os meus colegas tanto da graduação em agronomia como também do mestrado em agronomia que participaram diretamente e indiretamente pela realização deste trabalho, muito obrigado.

## **BIOGRAFIA**

KELTER SANTOS CARVALHO, filho de Manoel Carvalho Neto e Maria de Fátima dos Santos Carvalho, nasceu em 02 de dezembro de 1982, na cidade de Boa Vista, Estado de Roraima. Concluiu o ensino médio na Escola Estadual Aldebaro José Alcântara, no ano de 2001, na cidade de Bonfim, Estado de Roraima. Ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal de Roraima – UFRR no ano de 2003. Foi bolsista do Programa de Iniciação Científica Institucional (PICI/UFRR) no período de 2004-2006 e concluiu o curso no ano de 2008. Em Julho de 2007, iniciou o curso de Especialização em Agroambiente, na Universidade Federal de Roraima, concluindo-o em dezembro de 2008. Em março de 2009, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade Federal de Roraima.



CARVALHO, Kelter Santos. **Desenvolvimento do feijão-caupi em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Roraima**. 2011. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista-RR, 2011.

## RESUMO

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) traz grandes benefícios aos solos tropicais por aumentar a sua disponibilidade e favorecer a produtividade das culturas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desenvolvimento do feijão-caupi em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Roraima. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Agrárias, em Boa Vista, Roraima-Brasil, utilizando vasos de polietileno rígido com 5 L de solo coletado na camada de 0 – 20 cm. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5), sendo cinco classes de solos representativas do ecossistema de Cerrado, Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAdx), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx), Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd) e Neossolo Flúvico Psamítico Típico (RYve) e cinco doses de adubação nitrogenada, sendo quatro - 0, 20, 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em plantas inoculadas e uma - 0 kg ha<sup>-1</sup> de N em plantas não inoculadas, com quatro repetições. As sementes de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba foram inoculadas com a estirpe de *Bradyrhizobium* BR 3262. Avaliaram-se os componentes de produção (número, tamanho e massa da vagem), massa seca da raiz, número de nódulos e massa seca de nódulos. A inoculação proporcionou aumento nas variáveis estudadas em todos os solos estudados. As doses de N em plantas inoculadas proporcionaram incrementos significativos que variaram entre as classes de solo, sendo de 3 a 18% nos componentes de produção e de 8 a 70% para as demais variáveis. Dependendo da dose de N a adubação nitrogenada não afeta negativamente a nodulação em feijão-caupi.

**Palavras-chave** – *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Fixação biológica de nitrogênio. Fertilidade do solo.

CARVALHO, Kelter Santos. **Development of cowpea in function of the supply of nitrogen via FBN and/or mineral fertilization on soil savanna of Roraima.** 2011. Master's Degree dissertation in Agronomy- Federal University of Roraima, Boa Vista-RR, 2011.

## ABSTRACT

The Biological nitrogen fixation (FBN) brings great benefits to tropical soils by increase their availability and productivity of crops. Objectified if with this work to assess the development of Cowpea in function of the supply of nitrogen via FBN and/or mineral fertilization on soil savanna of Roraima. The experiment was conducted in house of vegetation in Center of Agrarian Sciences, in Boa Vista, Roraima-Brazil, using hard polyethylene vases with 5 L soil collected on layer 0 – 20 cm. the experimental design was in blocks blocks in schema factorial (5 x 5), five classes of soil are representative of ecosystem of Savannah Yellow Latosol, Distrocoeso (LAdx), Red Latosol Dystrophic (LVd), typical Argisols Yellow Distrocoeso (PAdx) argisols, red yellow Dystrophic (PVAd) and Neossolo Flúvico Typical Psamítico (RYve) and five doses of fertilization, being four-0, 20, 40 and 80 kg ha<sup>-1</sup> of N in inoculated plants and a – 0 kg ha<sup>-1</sup> of N in plants inoculated with four repetitions. The cowpea seeds of the plant variety BRS Guariba were inoculated with the strain of *Bradyrhizobium* BR 3262. Assessed-if the components of production (number, size and weight of pod), dry mass, number of root nodules and dry mass of nodules. Inoculation has resulted in an increase in the variables studied in all soils studied. Doses of N in inoculated plants provided significant increments ranging from solo classes, from 3 to 18% in the components of production and from 8 to 70% for the other variables. Depending on the dose of N fertilization does not affect negatively the nodulation in cowpea.

**Keywords** – *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Biological nitrogen fixation. Soil fertility.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO.....	14
2.2 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI: ASPECTOS ECONÔMICOS E PRODUTIVIDADE.....	16
2.3 RESPOSTA DO FEIJÃO-CAUPI EM FUNÇÃO DE DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO.....	17
2.4 FATORES QUE INTERFEREM NA FBN.....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1 Local do experimento.....	21
3.2 Característica do ambiente protegido.....	21
3.3 Materiais de solo.....	22
3.4 Delineamento.....	22
3.5 Características da cultivar.....	24
3.6 Realização do experimento.....	25
3.7 Descrição das variáveis.....	26
3.8 Análise estatística.....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
TABELA 1 Características químicas, físicas e físico-químicas dos solos de savana.....	24
TABELA 2 Características da cultivar de feijão-caupi BRS Guariba.....	25
TABELA 3 Resumo da análise de variância das características componentes de produção do feijão-caupi, submetidas a diferentes doses de nitrogênio, com e sem inoculação (N), em solos (S) representativos da savana de Roraima, Boa Vista, 2011.....	27
TABELA 4 Médias das características componentes de produção da parte aérea e da raiz de plantas de feijão-caupi em função de doses de N, com inoculação (I <sub>1</sub> ) e sem inoculação (I <sub>0</sub> ), em diferentes solos de savana, Boa Vista-RR, 2011.....	28
TABELA 5 Médias de massa de raiz, número de nódulos e massa seca de nódulos por planta de feijão-caupi em função de doses de N, sem inoculação (I <sub>0</sub> ) e com inoculação (I <sub>1</sub> ), em diferentes solos de savana, Boa Vista-RR, 2011.....	31
TABELA 6 Resumo da análise de variância das características componentes de produção do feijão-caupi, submetidas a diferentes doses de nitrogênio, com inoculação (N), em solos (S) representativos da savana de Roraima, Boa Vista, 2011....	32
TABELA 7 Equações de regressão dos componentes de produção da parte aérea: número de vagens por planta, comprimento de vagem, massa de vagem; coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica (DMET), em função das doses de nitrogênio em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista-RR, 2011.....	36
TABELA 8 Equações de componentes de produção da parte radicular: massa da raiz com nódulos (g) por planta, número de nódulos por planta, massa de nódulos (g) por planta; coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica (DMET), em função das doses de nitrogênio em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista-RR, 2011.....	38

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
FIGURA 1	Mapa e distribuição dos solos utilizado no experimento.....	23
FIGURA 2	Representação da parcela utilizada no experimento.....	23
FIGURA 3	Número de vagens, comprimento da vagem, massa de vagens de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	33
FIGURA 4	Comprimento da vagem de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	34
FIGURA 5	Massa de vagens de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	35
FIGURA 6	Massa de raiz por parcela de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	37
FIGURA 7	Número de nódulos por parcela de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	39
FIGURA 8	Massa de nódulos por planta de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.....	39

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma cultura de grande abrangência nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e de relevância socioeconômica, constituindo-se na principal fonte de proteína de baixo custo para a alimentação humana. Apesar da sua importância, as pesquisas dedicadas a esta cultura são escassas, sobretudo quanto aos aspectos de fertilidade e nutrição.

Historicamente, o feijão-caupi apresenta baixa produtividade devido às condições de cultivos sem adoção de tecnologias avançadas (FREIRE et al., 2005). O manejo da fertilidade do solo e a falta de N são fatores determinantes da baixa produtividade. Níveis ótimos de N, boas condições de fertilidade e a cultivar adequada elevam o potencial produtivo dessa cultura a produtividade superior a 3,5 MG ha<sup>-1</sup> (OLIVERIA et al., 2001).

O N necessário ao feijão-caupi pode provir da fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN), mediante a associação de bactérias, genericamente denominadas de rizóbios, com as raízes dessas leguminosas (HUNGRIA et al., 1991; FRANCO et al., 2002; MARTINS et al., 2003; SILVA et al., 2006). Normalmente, a FBN é bastante eficiente em feijão-caupi, o qual, quando bem nodulado, pode dispensar outras fontes de N e atingir alta produtividade (RUMJANEK et al., 2005; MELO; ZILLI, 2008), não havendo diferenças em produtividade entre o uso de N via adubação e via fixação simbiótica (LACERDA et al., 2004).

A simbiose rizóbio-leguminosas é um exemplo de associação biológica cujos benefícios para a sustentabilidade agrícola são reconhecidos, sendo possível substituir parcial (XAVIER et al., 2008) ou totalmente a adubação nitrogenada (HUNGRIA et al., 1999; MARTINS et al., 2003; LACERDA et al., 2004). O aumento da eficiência do processo de nodulação e conseqüentemente da FBN é uma das formas de aumentar a produtividade da cultura (FRANCO et al., 2002). Além disso, melhorando-se o desempenho simbiótico pode-se, da mesma forma que ocorre com a soja, dispensar a necessidade do uso de adubos nitrogenados para obtenção de maiores rendimentos (RUMJANEK et al., 2005).

Por outro lado, a introdução de inoculantes contendo rizóbios eficientes é dificultada, pois as estirpes nativas são, em geral, muito competitivas e de baixa eficiência na fixação do N<sub>2</sub> (PEREIRA et al., 2005), determinando uma variação de 40 a 90% no acúmulo de N na planta pela FBN (RUMJANEK et al., 2005). Assim, estratégias que avaliem a composição e a contribuição para a FBN por estirpes de rizóbio do solo em que se pretende introduzir o inoculante, são de grande importância (ZILLI et al., 2006).

Além das peculiaridades inerentes ao microssimbionte, também há relatos acerca de que a nodulação e a eficiência da FBN variam com as cultivares (MELO; ZILLI, 2009), e a temperatura do solo, no entanto, não há relato na literatura acerca da influência das classes de solo sobre a fixação biológica em feijão-caupi.

Mediante esse problema, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito do desenvolvimento do feijão-caupi em função do fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Roraima.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)**

Segundo Nóbrega e Nóbrega (2003), os rizóbios são bactérias capazes de penetrar e formar uma estrutura denominada nódulo nas raízes ou caules de algumas espécies de plantas Fabaceae. O nódulo é o local onde ocorre o processo de fixação de nitrogênio atmosférico e a troca de nutrientes entre a planta e a bactéria, podendo atingir um número muito grande por planta, porém nem sempre há garantias que esteja acontecendo uma fixação eficiente de N.

Em ambientes tropicais, a importância da fixação biológica de nitrogênio (FBN) está relacionada com a baixa disponibilidade de nitrogênio nos solos, agravada pela perda deste macronutriente no ambiente (XAVIER et al., 2008). Segundo Gliessman (2009), a FBN é a principal fonte de adição de nitrogênio em muitos agroecossistemas tradicionais, e foi um dos únicos métodos usados para incorporar nitrogênio em muitos sistemas de cultivo antes do desenvolvimento de fertilizantes nitrogenados.

Xavier et al. (2008), avaliando a influência da inoculação e da adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade em feijão-caupi no Piauí, observaram que a produtividade de grãos aumenta com o uso da inoculação, e que o efeito dessa prática é favorecida quando é feita uma adubação com no máximo 20 kg ha<sup>-1</sup> de N.

De acordo com Nóbrega e Nóbrega (2003), a FBN é um processo importante para diminuir o impacto da agricultura nos agroecossistemas e pode ser utilizada em revegetação de áreas degradadas. É um dos principais componentes da sustentabilidade, pois o processo não polui e enriquece o solo com nitrogênio; é acessível ao pequeno produtor, uma vez que reduz a dependência de insumos nitrogenados, o custo da produção, o impacto ambiental da atividade agrícola e, ao mesmo tempo, auxilia na recuperação de áreas degradadas.

Diversas vantagens são trazidas por esse processo que vão desde o aumento da produção vegetal até a contribuição para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a recuperação de áreas degradadas, o incremento da fertilidade e da matéria orgânica do solo. Entretanto, sua principal vantagem a curto prazo está associada à economia no uso de fertilizantes nitrogenados industrializados (RUMJANEK et al., 2005).

A fixação biológica de nitrogênio é mediada por ampla gama de microrganismos procariotos com substancial diversidade morfológica, fisiológica, genética, bioquímica e filogenética. Tal diversidade garante a ocorrência desse processo nos mais diferentes habitats terrestres. Contudo, apesar de sua grande importância na manutenção da biosfera, estima-se que menos de 1% dos microrganismos existentes no planeta tenham sido caracterizados e descritos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Para que a utilização dessa biodiversidade seja bem sucedida, é necessário utilizar estirpes de rizóbio eficientes na fixação de N<sub>2</sub> levando-se em conta, entre outros fatores, a competição com populações nativas estabelecidas no solo e a adaptação às condições ambientais locais, tornando-se necessário também o estudo de densidade e diversidade da população de rizóbios nativos (SOARES et al., 2006).

Entre os vários fatores ambientais que podem afetar negativamente a capacidade de nodulação e a fixação de N<sub>2</sub> das populações nativas de rizóbio nos solos, podem citar-se: pH, umidade, temperatura, fatores biológicos, salinidade, nitratos, pesticidas, herbicidas e metais pesados (CASTRO, 2000).



Os estudos de FBN em feijão-caupi têm focado principalmente as espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*, pelo fato das mesmas apresentarem maiores contribuições para a FBN, na maioria das leguminosas herbáceas, em regiões de clima tropical (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Com a cultivar BR-14 Mulato foi verificado que a inoculação no campo com as estirpes UFLA 03-84 (BR 3302) e INPA 03-11B (BR 3301) contribuiu, de forma significativa, para o aumento do rendimento de grãos, sendo semelhante ao da testemunha, com 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, e superior ao da estirpe de referência BR 2001 para esta cultura (SOARES et al., 2006).

ZILLI et al., 2006, também analisaram a eficiência simbiótica de algumas estirpes de *Bradyrhizobium*, isoladas de solos do Cerrado brasileiro, e verificaram que as estirpes BR 3262, BR 3280 (caracterizadas como *B. elkanii*) e BR 3267, BR 3287 e BR 3288 (*Bradyrhizobium* sp.) mostram-se como inoculantes potenciais para o feijão-caupi, em razão do bom desempenho tanto na eficiência simbiótica quanto na ocupação nodular.

## **2.2 Fixação biológica do nitrogênio no feijão-caupi: aspectos econômicos e produtividade**

O uso de inoculantes rizobianos em espécies leguminosas produtoras de grãos tem sido responsável por expressiva redução no custo da produção dessas espécies, por meio da redução do uso de adubos minerais nitrogenados. Apesar da maior parte dos inoculantes comercializados serem para a cultura da soja, existe uma demanda de mercado para outras culturas de importância econômica, como o feijão-caupi. A contribuição da FBN com esta cultura está na ordem de US\$ 13 milhões, somente para a região Nordeste brasileira (RUMJANEK et al., 2005).

Resultados de pesquisa para diversas leguminosas de interesse agrícola evidenciam o interesse da ampliação dos mercados na comercialização de inoculantes para outras culturas, a exemplo do feijão-caupi. Em pesquisas realizadas por Martins et al. (2003), verificou-se aumento de produtividade em 30% com a estirpe BR 3267.

Lacerda et al. (2004) verificaram que a inoculação, com estirpes de bactérias simbióticas fixadoras de N contribuiu de forma significativa, entre 23,7 a 31,2 %, para o aumento no rendimento de grãos pelo feijão-caupi, em relação às plantas não inoculadas e sem N mineral em ensaio de campo em Minas Gerais. Zilli et al. (2006) sugerem para

os níveis de adoção tecnológica no estado de Roraima que, em solos com baixa população de rizóbio estabelecida, a estirpe BR3267 (Semia 6462) é capaz de proporcionar rendimentos semelhantes à aplicação de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no plantio ou  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, parcelado em duas vezes. Desse modo, sugere que se pode dispensar a adubação nitrogenada quando a inoculação de sementes for adotada. Os autores ressaltam ainda que entre as estirpes testadas, a BR 3262 e INPA 03-11B, vem se mostrando as mais eficientes em termos de fixação de N na cultura do feijão-caupi em Roraima. Contudo, mesmo estas estirpes apresentaram dificuldades em competir com a população de bactérias do solo em algumas áreas. Isto mostra a necessidade de novas avaliações e isolamento de estirpes de rizóbio nativas ou naturalizadas no solo do estado.

Rumjanek et al. (2005) verificaram ganhos de produtividade na cultura do feijão-caupi em Volta do Riacho, PE, com a estirpe BR 3267 alcançando patamares de até 40% em condições experimentais de campo e de até 52% por agricultores experimentadores.

### **2.3 Resposta de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de Nitrogênio**

Embora o nitrogênio seja o segundo nutriente mais exigido pelas hortaliças leguminosas (FILGUEIRA, 2000), pouco se conhece a respeito das quantidades a utilizar que permitam a obtenção de rendimentos satisfatórios para o feijão-caupi. As poucas informações recomendam que em áreas recém-trabalhadas, pode ser utilizada uma adubação nitrogenada de aproximadamente  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em adubação de cobertura parcelada em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após a semeadura (OLIVEIRA, 1982).

Embora o nitrogênio exerça efeito altamente positivo sobre a produção do feijão comum, é importante se conhecer o modo mais adequado de aplicá-lo, isso porque, doses elevadas no plantio podem provocar perdas do elemento, em razão da sua mobilidade no solo, além de danos às sementes, reduzindo-lhes a porcentagem de emergência (ARAÚJO et al., 1994). Com relação ao feijão-caupi, pouco se conhece, ainda, a respeito das quantidades a se utilizar, que permitam a obtenção de rendimentos satisfatórios na produção e melhoria na qualidade das sementes.

Quanto às perdas por volatilização de amônia proveniente da uréia estas podem ser reduzidas, caso o fertilizante seja fornecido no solo, seguido de irrigação (RIBEIRO, 1996).

No trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2003), avaliaram o efeito da aplicação de nitrogênio aplicado no solo e via foliar utilizando a cultivar IPA 206, Os rendimentos máximos estimados de vagens ( $11 \text{ t ha}^{-1}$ ) e de grãos verdes ( $9,3 \text{ t ha}^{-1}$ ) foram obtidos com  $62$  e  $61 \text{ kg ha}^{-1}$  de Nitrogênio aplicado no solo, respectivamente. Quando o nitrogênio foi aplicado via foliar os rendimentos de vagens e de grãos verdes alcançaram valores máximos estimados de  $10$  e  $8,4 \text{ t ha}^{-1}$ , nas doses de  $64$  e  $63 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Santos et al. (2007), avaliaram o efeito de aplicação das concentrações  $0$ ;  $1,5$ ;  $3,0$ ;  $4,5$ ;  $6,0$  e  $7,5\%$  de uréia, aplicadas nas folhas e observaram que houve incremento na produtividade de vagens e grãos até a concentração de  $1,5\%$ , a partir desta ocorrendo tendência de diminuição da produtividade. De acordo com Carnicelli et al. (2000), esse incremento obtido com a uréia até a concentração de  $1,5\%$  deve estar relacionado ao aproveitamento do nitrogênio proveniente da aplicação da uréia foliar pelo feijão-caupi, visto que a cultura não recebeu qualquer outro tipo de adubo. As menores produtividades nas concentrações mais elevadas de uréia podem ter sido decorrentes do efeito tóxico do amônio proveniente da uréia, reduzindo a absorção de outros cátions, isto é, exercendo efeito competitivo sobre os cátions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) de tal forma que a absorção destes foi reduzida pela planta.

Oliveira et al. (2001), avaliaram o efeito de cinco doses de nitrogênio ( $0$ ,  $25$ ,  $50$ ,  $75$  e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e duas formas de aplicação (solo e via foliar) na produção de sementes de feijão-caupi, no município de Areia-PB, com o cultivar IPA 206, observaram que as respostas ao nitrogênio aplicado no solo e via foliar, na produção de sementes de feijão-caupi, ajustaram-se a modelos quadráticos, com a produção máxima de sementes ( $3550 \text{ kg ha}^{-1}$ ) obtida com  $56,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio aplicado no solo e  $59,0 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicado via foliar ( $3440 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Estes resultados evidenciam uma boa produtividade de sementes de feijão-caupi, cultivar IPA 206 na micro-região de Areia-PB.

A elevação da produção em função das doses de  $56$  e  $59 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, aplicadas no solo e via foliar, possivelmente se deva ao fato de que, durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, essas doses de nitrogênio, juntamente com os nutrientes adicionados ao solo, supriram de forma equilibrada as necessidades nutricionais da cultura. Os elementos nutritivos oferecidos de forma equilibrada proporcionam maiores produtividades, independente da quantidade, do que maiores

quantidades de forma isolada (PRIMAVESI, 1985). O fornecimento de doses adequadas de nitrogênio favorece o crescimento vegetativo, expande a área fotossinteticamente ativa e eleva o potencial produtivo da cultura (FILGUEIRA, 2000).

Smiderle e Schwengber (2008), avaliaram o efeito de quatro doses de nitrogênio (0; 20; 40; e 60 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando uréia como fonte) aplicadas em cobertura no solo sobre o rendimento produtivo e a qualidade fisiológica de sementes do feijão-caupi, cv. BRS Mazagão. O experimento foi conduzido na fazenda Jabuti, em Boa Vista, de janeiro a março/2003 sob irrigação por pivô central. Os resultados indicam que não houve efeito do nitrogênio aplicado sobre o número de grãos por vagem, enquanto o número de vagens e a massa de grãos aumentaram com as doses de nitrogênio. O nitrogênio aplicado ao solo proporcionou a produção de sementes mais vigorosas, ocorrendo aumento linear da emergência das sementes em campo com elevação de suas doses, passando a emergência média de 88% para 94%. A produtividade máxima de grãos (1497 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. A germinação das sementes não aumentou em função da elevação das doses de nitrogênio, apresentando uma taxa média de 91%. Este resultado está bem próximo do obtido por Oliveira et al. (2001), que ao aplicar no solo 55 kg ha<sup>-1</sup> de N, obtiveram maior produção de sementes de feijão-caupi.

A resposta da aplicação do nitrogênio no solo sobre o rendimento de grãos secos de feijão-caupi, a exemplo do ocorrido para o rendimento de vagens e número de grãos, também foi de forma quadrática, com produção máxima de grãos secos (1497 kg ha<sup>-1</sup>) obtida com 60,0 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado no solo. O nitrogênio fornecido no solo foi eficiente para o feijão-caupi expressar sua maior capacidade de rendimento. Os mais elevados rendimentos de vagens, maior número de grãos e de grãos secos, obtidos em função do nitrogênio aplicado no solo, devem-se não somente ao suprimento de nutrientes, mas também a redução de sua perda. As perdas por volatilização de amônia proveniente da uréia podem ser reduzidas sensivelmente, se o fertilizante for aplicado no solo, seguido de irrigação (RIBEIRO, 1996).

## 2.4 Fatores que interferem na FBN

Os estresses ambientais representam importantes fatores que influenciam a eficiência da FBN. Diversas condições ambientais podem ser consideradas limitantes à nodulação e a FBN. Fatores como a acidez dos solos, as elevadas temperaturas e o déficit hídrico, dentre outros, são fatores mais agravantes nas condições tropicais (HUNGRIA; VARGAS, 2000).

Estudos avaliando a produtividade de culturas em solos ácidos mostraram redução da produtividade ao longo dos anos em cultivos sucessivos nessas condições, concomitantemente com a queda da população de rizóbio no solo (WATKIN et al., 1997). Com a sobrevivência de células rizobianas comprometida, existe a necessidade da re-inoculação a cada plantio, para a manutenção da produtividade, mesmo na presença de leguminosas ocupando a área ao longo do ano (WATKIN et al., 2000).

O feijão-caupi que apresenta elevada tolerância à seca tem queda de produtividade e redução da FBN quando submetido a condições limitantes de disponibilidade hídrica na África (KRASOVA-WADE et al., 2006) e no Brasil (FERREIRA et al., 1994). Os mesmos resultados foram observados para leucena, uma espécie arbórea também resistente a elevadas temperaturas, onde além de redução da FBN e menor produtividade, a anatomia do nódulo apresentou-se diferenciada (MREMA et al., 1997). Redução na produtividade e eficiência na FBN também ocorre em culturas mais sensíveis como a soja (STREETER, 2003) e o feijão comum (MINASRI et al., 2007).

Alguns autores sugerem que a deficiência hídrica desencadeie uma série de respostas fisiológicas e anatômicas nas plantas hospedeiras, como diminuição da emissão de pêlos radiculares, descontinuidade da síntese de leghemoglobina e abortamento dos nódulos (GOORMACHTIG et al., 2004).

As elevadas temperaturas também são limitantes, mesmo quando não há deficiência hídrica. Mais uma vez, todas as fases da associação são afetadas, com ênfase na fase inicial da formação de nódulos. MERCANTE et al. (1998) demonstraram um pequeno percentual de estirpes testadas e apresentaram eficiência no estabelecimento da associação com feijão-caupi e leucena, quando submetidas à temperatura de 40°C.

O N é um constituinte fundamental das proteínas, e, portanto, tem um papel essencial em todas as atividades enzimáticas, enquanto o P está intimamente envolvido na transferência de energia dentro da célula (ATP e NADPH) e, junto com o N, é um elemento estrutural importante dos ácidos nucleicos (MARSCHNER, 1995).

A deficiência do P pode reduzir a produção da biomassa do hospedeiro e a demanda por fixação de N<sub>2</sub> fixado, reduzindo a força do dreno para o nódulo e conseqüentemente o funcionamento dos nódulos (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

Na bactéria, o fósforo parece ativar o gene para a síntese da nitrogenase (STOCK et al., 1990) e em muitos casos, a taxa de fixação de N parece ser controlada pela razão N:P no solo (CHAPIN et al., 1991).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local do experimento**

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Roraima-UFRR, localizada no Centro de Ciências Agrárias-CCA, Campus “Cauamé”, no município de Boa Vista em Roraima, cujas coordenadas geográficas de referências são: 2°49’11”N, 60°40’24”W e 90 m de altitude, no período de janeiro a março de 2010. Segundo a classificação de Köppen, o clima de Boa Vista é caracterizado da seguinte forma: encontra-se na Zona Climática Tropical, sem que haja estação extremamente seca nem temperatura média mensal inferior a 18° C, trata-se de um clima tropical úmido do tipo “A”, do subtipo Aw: com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa (abril-setembro) e outra seca (outubro-março) (ARAÚJO et al., 2001).

#### **3.2 Característica do ambiente protegido**

A área experimental foi constituída por uma casa de vegetação, modelo capela modificada, com 50 m de comprimento e 7 m de largura, com 3 m de pé-direito e coberta com película de polietileno transparente de baixa densidade aditivada anti-UV, de 100 µm de espessura e sombrite nas laterais permitindo boa ventilação.

Foi implantado um sistema de irrigação por micro aspersão suspensa para manter a umidade dos vasos próximo a 80% da capacidade de campo.

### 3.3 Materiais de solo

Os solos foram coletados de cinco áreas representativas do ecossistema de savana do município de Boa Vista-RR (Figura 1), com ampla faixa de variação de características químicas, físicas e mineralógicas. Esses solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006), como Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAdx), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx), Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd) e Neossolo Flúvico Psamítico Típico (RYve). A amostragem foi feita na camada de 0-20 cm, coletando-se aproximadamente 60 kg de solo por classe. Após a coleta dos solos, as amostras foram encaminhadas para a sala de secagem do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola-DSEA/CCA-UFRR, onde foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneiras de 4 mm. Amostras, na quantidade de 500 dm<sup>3</sup>, foram passadas em peneiras de 2 mm, para compor a terra fina seca ao ar (TFSA), encaminhadas ao laboratório para análises química e física. Os resultados das análises químicas, físicas e físico-químicas dos solos (EMBRAPA, 1997) estão apresentados na Tabela 1.

### 3.4 Delineamento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5), com quatro repetições. O primeiro fator consistiu dos cinco solos representativos do ecossistema de Cerrado da região de Boa Vista-RR (LAdx, LVd, PAdx, PVAd e RYve) e o segundo, foram as cinco formas de entrada de N ao solo: 1) Inoculado (I), 2) I + 20 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio; 3) I + 40 kg ha<sup>-1</sup> de N plantio; 4) I + 80 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio mais uma Testemunha (sem N e sem I). A fonte de N foi a uréia. A parcela experimental consistiu de um vaso de polietileno rígido de cor preta (com capacidade média de 5,6 kg de solo), com duas plantas (Figura 2).

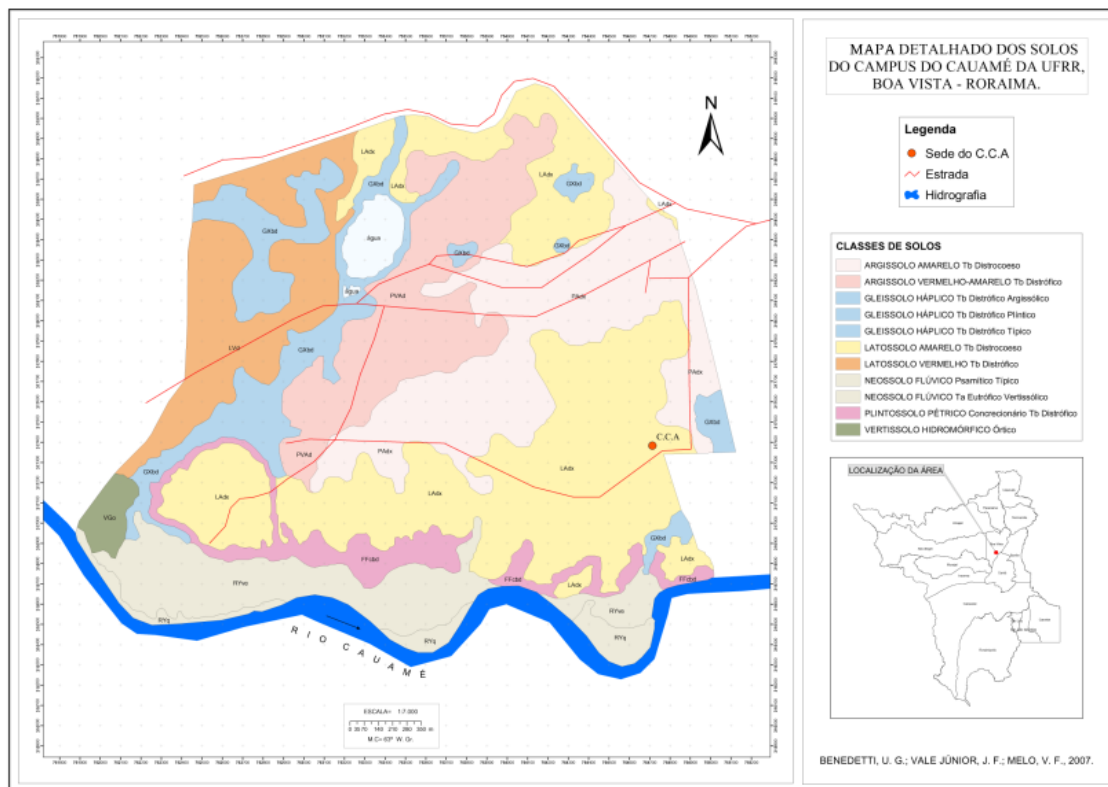


Figura 1 – Mapa e distribuição dos solos utilizado no experimento.



Figura 2 – Representação da parcela utilizada no experimento.



Tabela 1 – Características químicas, físicas e físico-químicas dos solos de savana.

SOLO	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	P	MO <sup>(1)</sup>
	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>	
LAdx	4,9	0,36	0,11	0,03	0,61	2,67	1,36	7,6
LVd	5,5	0,26	0,08	0,03	0,16	1,85	1,30	14,6
PAdx	5,1	0,89	0,27	0,09	0,39	3,70	5,68	7,1
PVAd	5,7	0,31	0,09	0,04	0,11	1,75	2,36	19,3
RYve	5,3	0,25	0,08	0,06	0,79	4,93	4,60	11,6
SOLO	SB <sup>(2)</sup>	CTCt <sup>(3)</sup>	CTCe <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	Composição Granulométrica (%)		
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		Argila	Silte	Areia
LAdx	0,50	1,11	3,17	16	55	26	8	66
LVd	0,36	0,52	2,21	16	31	16	8	76
PAdx	1,25	1,64	4,95	25	24	14	7	79
PVAd	0,45	0,56	2,20	20	20	10	7	83
RYve	0,39	1,18	5,32	7	67	13	6	81

<sup>(1)</sup> Matéria Orgânica; <sup>(2)</sup> Soma de Bases; <sup>(3)</sup> CTC total; <sup>(4)</sup> CTC efetiva; <sup>(5)</sup> Saturação de Bases; <sup>(6)</sup> Saturação por Alumínio

Com base nos resultados da análise química de cada solo foi definida a dose de calcário para elevar a saturação por bases a 50%. O corretivo utilizado consistiu numa mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> na relação estequiométrica 4:1. Amostras de 5 L de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e após a incorporação da mistura corretiva ao solo, seguiu-se a incubação durante 30 dias, até a estabilização do pH, sendo o teor de umidade verificado diariamente para que se mantivesse próximo a 80% da capacidade de campo.

### 3.5 Características da cultivar

A cultivar de feijão-caupi utilizada neste experimento foi a BRS Guariba, com hábito de crescimento indeterminado, porte semi-ereto, floração de 30 aos 41 dias após a emergência e ciclo médio de 65 a 70 dias (FREIRE FILHO et al., 2004). Recomendada para plantio em Roraima por Vilarinho et al. (2006). As características da cultivar de feijão-caupi utilizada nesse experimento encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Características da cultivar de feijão-caupi BRS Guariba (FREIRE FILHO et al., 2004).

<b>Caráter</b>	<b>Característica</b>
Hábito de crescimento	Indeterminado
Porte	Semi-ereto
Cor do flor	Branca
Cor da vagem seca	Roxa
Comprimento da vagem	17,8 cm
Nº de grãos por vagem	12
Nível de inserção das vagens	Acima da folhagem
Peso de 100 grãos	19,5 g
Classe comercial	Branca
Subclasse comercial	Branca
Nº de dias para floração	41 dias
Ciclo	65-70 dias

### 3.6 Realização do experimento

Após a incubação do solo, cada amostra de solo foi transferida para vasos de plástico com capacidade para 5 L, adicionando-se a adubação para todos os tratamentos que consistiu de 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tendo como fonte o superfosfato simples. Os micronutrientes foram adicionados por meio do FTE BR 12, na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup>.

A instalação do experimento ocorreu no dia 15/01/2010. No ato da semeadura, foram colocadas cinco sementes por vaso. O início da emergência das plântulas foi verificada no dia 18/01/2010, obtendo-se uma germinação de 85%. As sementes dos tratamentos com inoculação, foram inoculadas com estirpes BR 3262 em veículo turfoso, recomendada para as condições locais por Zilli et al. (2006). A concentração mínima de rizóbio foi da ordem de 10<sup>8</sup> células g<sup>-1</sup> de inoculante, sendo que a inoculação consistiu da aplicação de uma proporção 5 g de inoculante para 500 g de sementes embebidas em água potável. O desbaste foi realizado 10 dias após a semeadura, deixando-se duas plantas por vaso. A aplicação de K em cobertura foi feita aos 8 dias após a emergência das plântulas (DAE), no início do estágio fenológico V2, caracterizado pela presença da segunda folha trifoliada completamente aberta em 80% das plantas, ou seja, foi adicionado 50% da dose de K no plantio e o restante foi adicionado em cobertura.

As colheitas ocorreram em dias alternados 15, 17 e 19/03/2010, onde se fez a avaliação da parte aérea e no dia 20/03/2010 fez-se a avaliação da parte radicular.

### **3.7 Descrição das variáveis**

O procedimento adotado para as variáveis agrônômicas avaliadas da parte aérea no experimento foram:

a) Comprimento da vagem (CV): média obtida pela medida das vagens com grão por vaso, em centímetros;

b) Número de vagens por planta (NV): média obtida pela contagem das vagens por vaso;

c) Massa de vagens (MV): média da massa de vagem com grãos por vaso;

d) Massa (g) das raízes mais os nódulos por vaso (MR): após a última colheita, no mesmo dia, as plantas foram cortadas no ponto de inserção cotiledonar e feita a lavagem em água corrente para retirada do solo, em seguida as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Após 72 horas, fez-se a pesagem da massa das raízes por parcela em uma balança com precisão de 0,001 g.

e) Número (n) de nódulos por vaso (NN): a contagem manual dos nódulos nas raízes para cada parcela ocorreu após as amostras ficarem 72 horas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C;

f) Massa (g) de nódulos por vaso (MN): após a contagem dos nódulos colocou-se os nódulos em uma placa de petri e pesou-se em uma balança com precisão de 0,001 g.

### **3.8 Análise estatística**

Os dados das variáveis da parte radicular e da parte aérea foram submetidos à análise de variância pelo teste F com uso do software ASSISTAT (SILVA, 1996; SILVA; AZEVEDO, 2002). Foram realizadas análises de regressão para os efeitos significativos referentes aos efeitos quantitativos. Para os efeitos qualitativos as médias foram separadas pelo teste de Tukey. Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados, escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferenças significativas para as formas de N e classe de solos estudados: número de vagem por planta (NV), comprimento da vagem (CV), massa de vagem (MV), massa da raiz com nódulos por planta (RN), número de nódulos por planta (NN), massa de nódulos por planta (MN). Houve efeito significativo das classes de solos e formas de N no solo. A interação entre as classes de solos e formas de N foi significativa para maioria das variáveis analisadas, evidenciando um comportamento diferenciado dos solos dentro de cada dose de N estudada (Tabela 3).

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância das características componentes de produção do feijão-caupi, submetidas a diferentes doses de nitrogênio, com e sem inoculação (N), em solos (S) representativos da savana de Roraima, Boa Vista, 2011.

F.V.	G.L.	QUADRADO MÉDIO					
		NV	CV	MV	RN	NN	MN
BLOCO	3	0,720 <sup>ns</sup>	4,018 <sup>ns</sup>	20,615 <sup>*</sup>	0,139 <sup>*</sup>	4,613 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
S	4	8,06 <sup>***</sup>	38,266 <sup>***</sup>	51,646 <sup>***</sup>	37,489 <sup>**</sup>	3070,16 <sup>**</sup>	0,208 <sup>**</sup>
N	4	22,735 <sup>***</sup>	55,858 <sup>***</sup>	43,815 <sup>***</sup>	21,525 <sup>**</sup>	4872,16 <sup>**</sup>	0,171 <sup>**</sup>
S vs N	16	1,035 <sup>***</sup>	3,000 <sup>**</sup>	2,635 <sup>ns</sup>	0,847 <sup>**</sup>	406,36 <sup>**</sup>	0,012 <sup>**</sup>
Resíduo	72	0,421	1,573	1,526	0,039	8,863	0,001
CV (%)		20,0	8,45	10,7	4,59	4,60	8,14

FV - Fontes de variação; S – classe de solo; N – doses de N com e sem inoculação; NV – número de vagem por parcela; CV – comprimento de vagem (cm) parcela; MV – massa de vagem (g) por parcela; RN – massa da raiz com nódulo (g) por parcela; NN – número de nódulos por parcela; MN – massa de nódulo (g) por parcela; <sup>ns</sup> - não significativo; <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> - significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para a interação entre doses de N (com e sem inoculação) e as classes de solos, sendo o desdobramento estudado e as médias separadas pelo teste de Tukey (Tabela 4).

Dentro dos tratamentos sem ( $N_0I_0$ ) e com inoculação ( $N_0I_1$ ), verifica-se na Tabela 2 que as plantas inoculadas e cultivadas nos solos LAdx, PVAd e RYve tiveram incrementos significativos no número de vagens, destacando o solo LAdx, cujo número de vagens aumentou em 133%. O número máximo de vagens por planta inoculada foi cinco no RYve, estatisticamente semelhante aos solos PAdx e PVAd. Nos solos LVd e PAdx não houve aumento do número de vagens pela inoculação. Para esta variável, independentemente da classe de solo, o tratamento  $N_{20}I_1$  determinou superioridade nas médias. No tratamento  $N_{80}I_1$  ocorreu uma redução significativa na produção de vagens não havendo diferença, para a maioria das classes de solos, do tratamento sem inoculação ( $N_0I_0$ ).

**Tabela 4** – Médias das características componentes de produção da parte aérea e da raiz de plantas de feijão-caupi em função de doses de N, com inoculação ( $I_1$ ) e sem inoculação ( $I_0$ ), em diferentes solos de savana, Boa Vista-RR, 2011.

Classe de Solo	$N_0I_0$	$N_0I_1$	$N_{20}I_1$	$N_{40}I_1$	$N_{80}I_1$
Número de vagens por planta por parcela					
LAdx	1,50 bC	3,50 bcAB	4,00 bcA	3,75 abA	2,25 aBC
LVd	1,50 bB	2,50 cAB	3,50 cA	2,50 bAB	1,50 aB
PAdx	3,50 aAB	4,00 abAB	4,50 bcA	3,00 abBC	2,00 aC
PVAd	2,50 abC	4,25 abAB	5,00 abA	3,50 abBC	2,25 aC
RYve	2,50 abC	5,00 aAB	6,00 aA	4,25 aB	2,25 aC
Comprimento da vagem (cm) por parcela					
LAdx	14,38 aBC	15,13 aBC	18,28 abA	16,80 aAB	13,83 bC
LVd	9,88 bC	14,53 aA	15,13 cA	13,18 cAB	11,00 cBC
PAdx	13,00 aB	15,20 aAB	16,00 bcA	14,25 bcAB	13,50 bB
PVAd	14,00 aBC	16,50 aA	17,13 abcA	15,75 abAB	12,00 bcC
RYve	13,25 aC	15,75 aB	19,00 aA	17,25 aAB	16,50 aB
Massa da vagem (g) por parcela					
LAdx	8,93 aAB	9,63 cAB	10,78 cA	9,66bAB	7,98bB
LVd	9,68 aB	12,00 abA	13,00 bA	11,25bAB	11,00abAB
PAdx	8,81 aC	10,13 bcBC	12,63 bcA	11,25bAB	10,50abABC
PVAd	10,00 aB	14,13 aA	16,00 aA	15,00aA	11,25aB
RYve	11,00 aC	12,25 abBC	15,25 aA	14,25aAB	15,25aC

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha (N) e minúscula na coluna (dentro de cada solo), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Dentro dos tratamentos sem inoculação, apenas o LVd determinou diferenças significativas para o comprimento de vagem (Tabela 4). Para as plantas inoculadas o comprimento de vagem não foi afetado pelas classes de solos. A inoculação elevou o comprimento da vagem nos solos LVd, PVAd e RYve em relação a não inoculação. A maior contribuição da inoculação ( $N_0I_1$ ) no aumento do comprimento da vagem se deu no LVd (47%) em relação ao tratamentos sem inoculação ( $N_0I_0$ ). Com exceção do solo RYve, o comprimento da vagem obtida em  $N_{80}I_1$  não diferiu estatisticamente do  $N_0I_0$ .

A massa da vagem não foi afetada pelas classes de solos na condição de  $N_0I_0$  (Tabela 4). A inoculação ( $N_0I_1$ ) afetou o aumento da nodulação do rizóbio nas classes de solo, sendo a média da massa de vagem superior nas classes LVd, PVAd e RYve. Entre as duas condições  $N_0I_0$  e  $N_0I_1$ , apenas as classes de solo LVd e PVAd apresentaram diferenças significativas com incrementos de 24 e 47%, respectivamente.

De modo geral, constatou-se, pelos resultados apresentados na Tabela 4, que a fixação simbiótica de nitrogênio determinou incrementos significativos nas variáveis estudadas em relação ao tratamento sem inoculação. Apenas a inoculação das plantas proporcionou resultados médios, das variáveis estudadas, comparáveis ou superiores ao uso das doses de N. Esses resultados reforçam o que outros trabalhos desenvolvidos em várias regiões brasileiras têm apresentado quanto aos benefícios da inoculação para aumento de produtividade de grãos dessa cultura (LACERDA et al., 2004; MARTINS et al., 2005; SOARES et al., 2006; ZILLI et al., 2006, 2008).

As classes de solos determinaram efeitos significativos na resposta da planta (Tabela 4). Exceto nos tratamentos não inoculados ( $N_0I_0$ ), a massa da vagem não foi afetada pelas classes de solos. Assim como o comprimento da vagem no tratamento inoculado ( $N_0I_1$ ) e o número de vagens no tratamento  $N_{80}I_0$ . Considerando que os solos foram corrigidos e adubados, resta considerar que características intrínsecas a classe de solo não alteradas pela correção da fertilidade, como o teor de matéria orgânica, a qual interfere diretamente no poder tampão e na textura do solo, expliquem o comportamento diferenciado em relação aos tratamentos sem e com inoculação mais adubação com N. Conforme Martins et al. (2003), as condições edafoclimáticas, particularmente a disponibilidade de N na solução do solo que está relacionado ao teor de matéria orgânica do solo, na fase inicial da cultura, pode influenciar no desempenho da FBN. O teor de N fornecido via adubação pode contribuir para as classes de solos com baixo teor de matéria orgânica, possibilitando o desenvolvimento inicial da cultura e o estabelecimento da FBN.

Em Roraima, assim como em outros Estados da Amazônia, os solos apresentam baixo teor de matéria orgânica, pH ácido e elevada saturação por alumínio, sendo a magnitude de cada atributo químico variando entre as classes. Estes fatores, reconhecidamente, afetam a simbiose entre o rizóbio e as leguminosas, bem como a própria planta e a manutenção da população de rizóbio no solo (WATKIN et al., 2003; HUNGRIA; VARGAS, 2000). Condições de fertilidade do solo pela correção do P com diferentes fontes foi correlacionada significativamente com a nodulação, teores de clorofila nas folhas e o N acumulado na parte aérea do feijão-caupi (SILVA et al., 2010). Guedes et al. (2010) ressaltaram que as diferenças em produtividade de plantas de feijão-caupi inoculadas devem-se as diferenças no potencial produtivo dos cultivares, bem como nas condições edafoclimáticas particulares a cada estudo.

A FBN determinou diferenças significativas na massa de raízes, número de nódulos e massa de nódulos, dentro das diferentes classes de solos estudadas (Tabela 5). No LAdx verificou-se o maior crescimento das raízes, enquanto que no LVd as plantas apresentaram maior número de nódulos e massa de nódulos. A baixa fertilidade, particularmente dessas duas classes, explica os resultados observados para estas variáveis.

Independentemente da classe de solo, observa-se na Tabela 5 que o número de nódulos e massa de nódulos por planta no tratamento sem inoculação foi alto comparado aos dados observados para feijão-caupi cultivado em casa de vegetação por Chagas Júnior et al. (2007). A capacidade dos rizóbios nativos nodularem plantas de feijão-caupi tem registro na literatura (RUMJANEK et al., 2005; HARA; OLIVEIRA, 2007; ZHANG et al, 2007; MELLO; ZILLI, 2009). No entanto, as espécies nativas de bactérias fixadoras de nitrogênio, conforme os dados observados apresentaram eficiência variada em relação às classes de solo.

Nas classes de solos LAdx e RYve, a massa de vagem foi estatisticamente semelhante entre os tratamentos sem e com inoculação. Portanto, esses dados levantam a hipótese que a efetividade do rizóbio nativo pode estar ligada às características de fertilidade do solo onde se dá a associação. Zilli et al. (2009), pesquisando com solo de cerrado de Roraima, demonstraram que a efetividade de *Bradyrhizobium* variou entre as diferentes estirpes estudadas, sendo possível que essa variação se dê entre as estirpes nativas.

**Tabela 5** – Médias de massa de raiz, número de nódulos e massa seca de nódulos por planta de feijão-caupi em função de doses de N, sem inoculação e com inoculação ( $I_1$ ) ( $I_0$ ), em diferentes solos de savana, Boa Vista-RR, 2011.

Classe de Solo	$N_0 I_0$	$N_0 I_1$	$N_{20} I_1$	$N_{40} I_1$	$N_{80} I_1$
Massa seca de raiz (g) por parcela					
LAdx	3,40 abD	5,90 aC	6,80 aB	7,80 aA	6,15 aC
LVd	3,60 aD	5,50 bC	6,20 bA	5,90 bAB	5,60 bBC
PAdx	3,10 bC	4,10 cB	4,70 cA	4,60 cA	4,50 cA
PVAd	1,40 cD	3,50 dC	4,40 cA	4,00 dB	3,50 dC
RYve	1,30 cD	2,50 eC	3,00 dB	3,20 eAB	3,50 dA
Número de nódulos por parcela					
LAdx	39 bD	65 bcB	77 bA	75 bA	58 cC
LVd	40 bE	98 aB	112 aA	90 aC	74 aD
PAdx	55 aC	68 bB	80 bA	71 bB	57 cC
PVAd	19 cD	42 dC	52 dB	71 bA	56 cB
RYve	43 bD	62 cC	70 cAB	74 bA	68 bB
Massa de nódulo seco (g) por parcela					
LAdx	0,40 aC	0,45 bBC	0,49 bAB	0,52 bA	0,46 bABC
LVd	0,40 aD	0,56 aC	0,60 aBC	0,66 aAB	0,70 aA
PAdx	0,28 bB	0,32 cB	0,43 bcA	0,45 cA	0,48 bA
PVAd	0,13 cD	0,35 cC	0,47 bB	0,55 bA	0,34 cC
RYve	0,18 cC	0,32 cB	0,37 cAB	0,40 cA	0,34 cAB

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha (N) e minúscula na coluna (dentro de cada solo), não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A inoculação ( $N_0 I_1$ ) determinou diferenças significativas no número de nódulos e massa de nódulos em todas as classes de solos (Tabela 5). O maior número de nódulos e massa seca de nódulos por planta ocorreu no LVd. A massa seca de nódulos por planta não apresentou diferenças significativas nos solos PAdx, PVAd e RYve. De modo geral o baixo número de nódulos foi compensado pelo aumento na massa de nódulo, também observado por Lacerda et al. (2004).

A adubação nitrogenada, até  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $N_{20} I_1$ ), não inibiu a nodulação. Porém doses elevadas de N reduziram significativamente a nodulação a valores iguais ou inferiores ao tratamento não inoculado. Efeito semelhante do nitrogênio sobre a população de rizóbios foi observado por Lacerda et al. (2004).



As interações significativas ( $p < 0,05$ ), (Tabela 6) entre os níveis de N em plantas inoculadas e as diferentes classes de solos foram desdobradas para as variáveis estudadas (Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9). A escolha do modelo para cada variável baseou-se na significância dos parâmetros e nos valores do  $R^2$  (ALVAREZ; ALVAREZ, 2006).

**Tabela 6** - Resumo da análise de variância das características componentes de produção do feijão-caupi, submetidas a diferentes doses de nitrogênio, com inoculação (N), em solos (S) representativos da savana de Roraima, Boa Vista, 2011.

F.V.	GL	QUADRADO MÉDIO					
		NV	CV	MV	RN	NN	MN
BLOCO	3	0,416 <sup>ns</sup>	3,703 <sup>ns</sup>	18,808 <sup>***</sup>	0,141 <sup>*</sup>	5,30 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
S	4	6,981 <sup>*</sup>	30,166 <sup>***</sup>	53,087 <sup>***</sup>	34,13 <sup>*</sup>	3078,50 <sup>**</sup>	0,169 <sup>**</sup>
N	3	21,246 <sup>*</sup>	46,887 <sup>***</sup>	28,181 <sup>*</sup>	2,71 <sup>*</sup>	1102,93 <sup>**</sup>	0,045 <sup>**</sup>
S vs N	12	0,923 <sup>ns</sup>	3,810 <sup>*</sup>	1,977 <sup>ns</sup>	0,577 <sup>*</sup>	314,76 <sup>**</sup>	0,009 <sup>**</sup>
N/S <sub>1</sub>	3	1,729 <sup>*</sup>	15,082 <sup>***</sup>	3,179 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>**</sup>	315,66 <sup>**</sup>	0,004 <sup>*</sup>
N/S <sub>2</sub>	3	2,063 <sup>*</sup>	13,386 <sup>***</sup>	3,229 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>**</sup>	1006,66 <sup>**</sup>	0,015 <sup>**</sup>
N/S <sub>3</sub>	3	3,229 <sup>**</sup>	4,769 <sup>*</sup>	4,875 <sup>*</sup>	0,27 <sup>**</sup>	360,00 <sup>**</sup>	0,019 <sup>**</sup>
N/S <sub>4</sub>	3	6,250 <sup>***</sup>	21,141 <sup>***</sup>	16,72 <sup>***</sup>	0,76 <sup>**</sup>	579,66 <sup>**</sup>	0,040 <sup>**</sup>
N/S <sub>5</sub>	3	11,667 <sup>***</sup>	7,750 <sup>**</sup>	8,083 <sup>***</sup>	0,70 <sup>**</sup>	100,00 <sup>**</sup>	0,004 <sup>**</sup>
Resíduo	57	0,602	1,800	1,569	0,397	9,05	0,000
<b>CV (%)</b>		22,25	8,75	10,38	4,18	4,24	5,94

FV - Fontes de variação; S - classe de solo; N - doses de N com inoculação; CV - comprimento de vagem (cm) por parcela; NV - número de vagem por parcela; MV - massa de vagem por parcela; RN - massa da raiz com nódulo (g) por parcela; NN - número de nódulos por parcela; MN - massa de nódulo (g) por parcela; <sup>ns</sup> - não significativo; <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> - significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Pela Tabela 6 observa-se que houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para a interação entre doses de N (com inoculação) e os solos de savana. O número de vagens, em plantas de feijão-caupi inoculadas, variou de 2,99 a 5,41, de acordo com a classe de solo, sendo a RYve a que mais se destacou. A DMET variou de 10,61 a 25,86  $\text{kg ha}^{-1}$  de N para uma eficiência máxima de 11%. As classes PAdx e PVAd apresentaram comportamento diferenciado do grupo, sendo a relação entre o número de vagens e a dose de N nas plantas inoculadas melhor explicado pelo modelo linear (Figura 3), tendo a adubação nitrogenada reduzido o número de vagem. No RYve, a eficiência alcançada com adição do N foi de 3%, indicando pouca dependência dessa classe a adubação com N (Tabela 7).

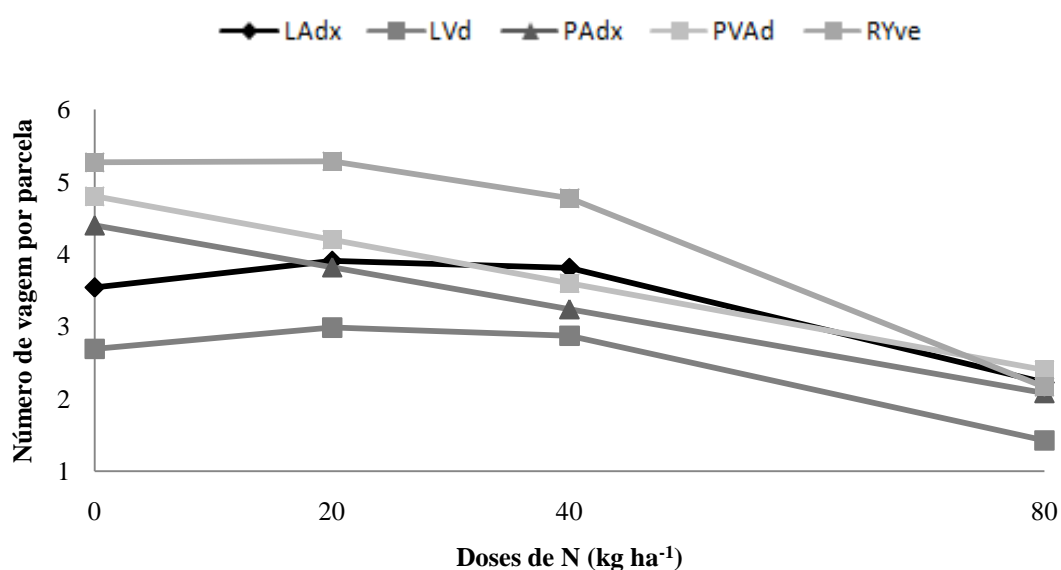


Figura 3 - Número de vagens de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

Na Figura 4 observa-se que os solos RYve e PVAd se destacaram, entre as classes de solos que apresentaram o maior comprimento de vagem. A eficiência máxima foi alcançada pelo LAdx (14%) para DMET de 33,8  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. Nas demais classes a adubação nitrogenada afetou negativamente esta variável, sendo a inoculação suficiente para a máxima resposta.

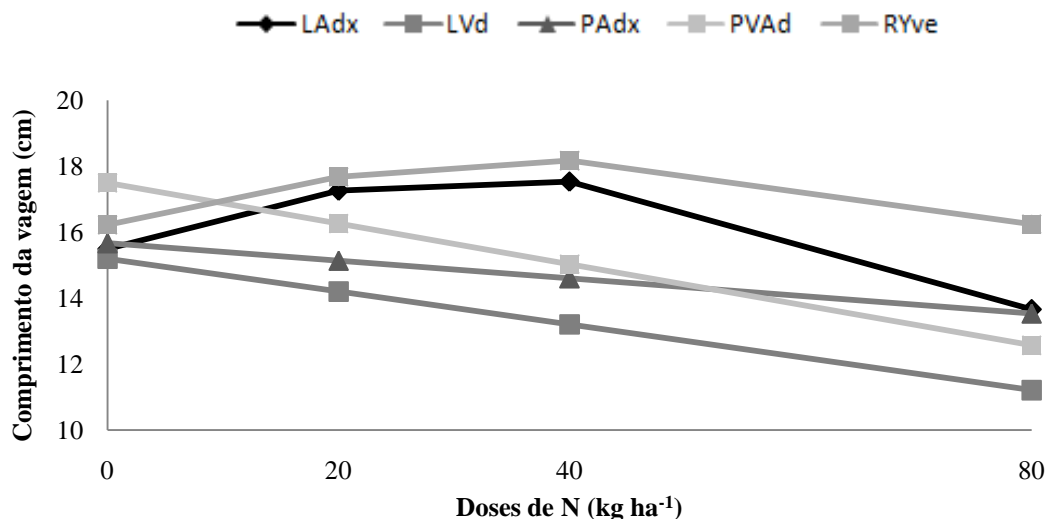


Figura 4 – Comprimento da vagem de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

A massa de vagem foi a variável mais sensível a adição de N nas plantas inoculadas, sendo o comportamento dessa variável em relação às doses de N melhor explicados pelo modelo quadrático (Figura 5), para a maioria das classes de solo.

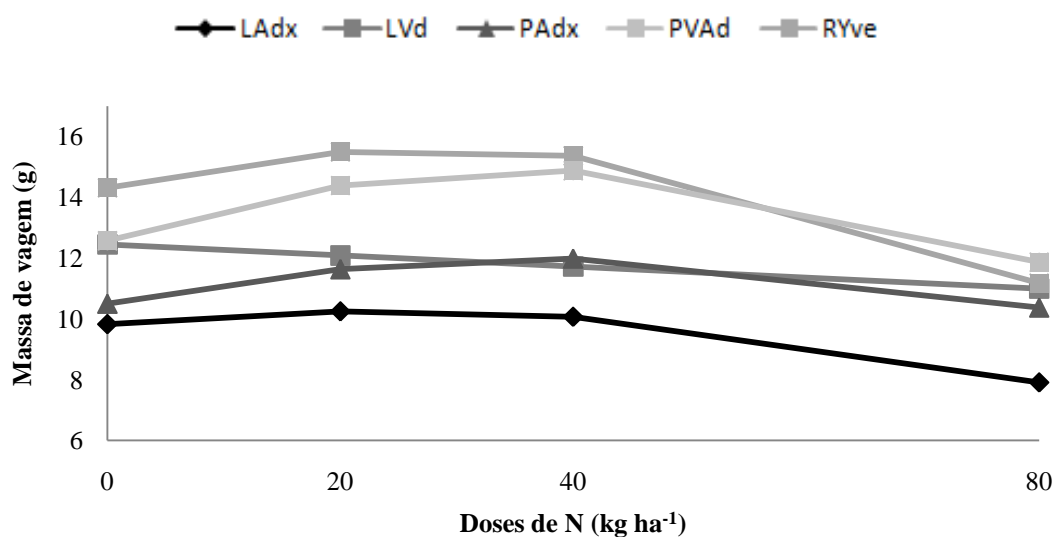


Figura 5 - Massa de vagens de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

Exceto o LVd, as demais classes de solos apresentaram eficiência entre 4 e 18% no aumento da massa de vagem pela adição do N nas plantas inoculadas. As DMET variaram de 24,0 a 37,3, sendo o PVAd que alcançou a maior massa de vagem por planta (Tabela 7).

**Tabela 7** – Equações de regressão dos componentes de produção da parte aérea: número de vagens por parcela, comprimento de vagem por parcela, massa de vagem por parcela; coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica (DMET), em função das doses de nitrogênio em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista-RR, 2011.

Solo	Equação	R <sup>2</sup>	DMET	Variável na DMET	Incremento <sup>1/</sup>	Eficiência (%) <sup>2/</sup>
Número de vagem por parcela						
LAdx	$\hat{Y} = 3,54 + 0,030^{ns} X - 0,00058 X^2$	0,99	25,86	3,92	0,44	11
LVd	$\hat{Y} = 2,69 + 0,025^{ns} X - 0,00051 X^2$	0,78	24,51	2,99	0,30	11
PAdx	$\hat{Y} = 4,40 - 0,029^{***} X$	0,81	-	-	-	-
PVAd	$\hat{Y} = 4,80 + 0,030^{***} X$	0,76	-	-	-	-
RYve	$\hat{Y} = 5,27 + 0,014 X - 0,00066^{***} X^2$	0,87	10,61	5,41	0,14	3
Comprimento de vagem (cm) por parcela						
LAdx	$\hat{Y} = 15,50 + 0,125^{***} X - 0,00185^{***} X^2$	0,85	33,8	17,61	2,11	14
LVd	$\hat{Y} = 15,20 - 0,04982^{***} X$	0,87	-	-	-	-
PAdx	$\hat{Y} = 15,67 - 0,026643 X$	0,70	-	-	-	-
PVAd	$\hat{Y} = 17,50 - 0,06161^{***} X$	0,84	-	-	-	-
RYve	$\hat{Y} = 16,23 + 0,097 X - 0,0012 X^2$	0,51	40,4	18,19	1,96	12
Massa de vagem (g) por parcela						
LAdx	$\hat{Y} = 9,83 + 0,036 X - 0,00075 X^2$	0,88	24,0	10,26	0,43	04
LVd	$\hat{Y} = 12,45 - 0,01821 X$	0,50	-	-	-	-
PAdx	$\hat{Y} = 10,50 + 0,076 X - 0,00097 X^2$	0,55	39,2	11,98	1,48	14
PVAd	$\hat{Y} = 14,31 + 0,092 X - 0,00164 X^2$	0,97	28,1	15,60	1,29	09
RYve	$\hat{Y} = 12,57 + 0,124 X - 0,00166 X^2$	0,83	37,3	14,88	2,31	18

<sup>1/</sup>Incremento = variável na dose MET – variável na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N<sub>0</sub>I<sub>0</sub> em cobertura; <sup>2/</sup>Eficiência (%) = {[ (Variável na dose de MET x 100) / (variável na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N<sub>0</sub>I<sub>0</sub> em cobertura) ] - 100}

O baixo incremento e eficiência observados (3 a 18%) nas características componentes de produção, independentemente da classe de solo, revelam que a nodulação proporcionou o maior aporte de N necessário a nutrição das plantas de feijão-caupi, sendo também constatado por Brito et al. (2009). O uso de até 20 kg ha<sup>-1</sup> de N em plantas inoculadas conforme recomendação de Xavier et al. (2008) pode ser considerada, desde que não comprometa a viabilidade econômica da cultura. No entanto, o uso de doses superiores a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, não é recomendado, pois reduziu todas as variáveis. Conforme Martins et al. (2003), essas leguminosas quando em simbiose com estirpes eficientes de rizóbios, são favorecidas pela disponibilização do nitrogênio necessário para uma produção agrônômica viável e equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os resultados apresentados demonstram a eficiência da FBN em feijão-caupi, sendo uma forma de incrementar a produtividade, evitando custos com adubos nitrogenados solúveis (FRANCO et al., 2002; SOARES et al., 2006).

As doses de N aumentaram de modo quadrático a massa da raiz na maioria das classes de solos estudadas (Figura 6). Na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N, o número de massa da raiz variou de 2,52 (RYve) a 5,79 g (PAdx), enquanto que na DMET variou de 6 (LAdx) a 115 kg ha<sup>-1</sup> de N (RYve), determinando uma eficiência que variou de 8 a 31% (Tabela 7). O solo RYve apresentou uma redução da massa seca de raiz com aumento das doses de N, sendo um indicador das boas condições de fertilidade do solo.

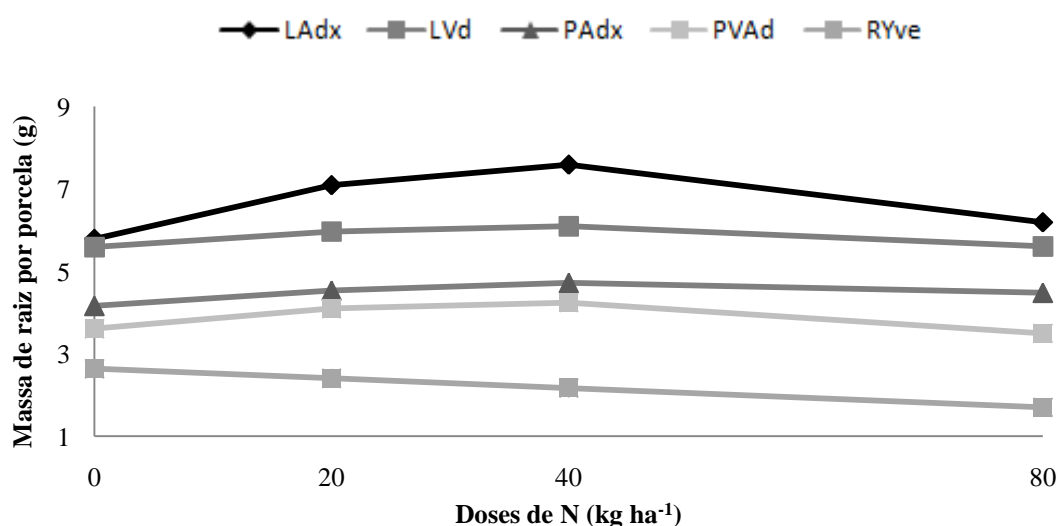


Figura 6 – Massa de raiz feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

**Tabela 8** – Equações de componentes de produção da parte radicular: massa da raiz com nódulos (g) por parcela, número de nódulos por parcela, massa de nódulos (g) por parcela; coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica (DMET), em função das doses de nitrogênio em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista-RR, 2011.

Solo	Equação	R <sup>2</sup>	DMET	Variável na DMET	Incremento <sup>1/</sup>	Eficiência (%) <sup>2/</sup>
Massa da raiz (g) por parcela						
LAdx	$\hat{Y}=5,79+0,085^{***}X-0,00100^{***}X^2$	0,93	42,50	7,57	1,78	31
LVd	$\hat{Y}=5,59+0,025^{***}X-0,00031^{***}X^2$	0,71	40,32	6,25	0,66	12
PAdx	$\hat{Y}=4,16+0,024^{***}X-0,00025^{***}X^2$	0,67	48,00	4,74	0,58	14
PVAd	$\hat{Y}=3,61+0,033^{***}X-0,00043^{***}X^2$	0,72	38,37	6,07	0,48	8
RYve	$\hat{Y}=2,64-0,01171^{***}X$	0,91	-	-	-	-
Número de nódulos por parcela						
LAdx	$\hat{Y}=65,79+0,640^{***}X-0,00926^{***}X^2$	0,97	34,56	76,85	11,06	17
LVd	$\hat{Y}=106,80-0,380^{***}X$	0,67	-	-	-	-
PAdx	$\hat{Y}=69,83+0,409^{***}X-0,00722^{***}X^2$	0,85	28,32	75,62	5,79	8
PVAd	$\hat{Y}=39,82+1,130^{***}X-0,01148^{***}X^2$	0,87	49,22	67,63	27,81	70
RYve	$\hat{Y}=61,95+0,521^{***}X-0,00557^{***}X^2$	0,99	46,77	74,13	12,18	20
Massa de nódulos (g) por parcela						
LAdx	$\hat{Y}=0,44+0,0032^{***}X-0,00004^{**}X^2$	0,98	40,00	0,50	0,06	14
LVd	$\hat{Y}=0,57+0,0017^{***}X$	0,95	-	-	-	-
PAdx	$\hat{Y}=0,33+0,0050^{***}X-0,00004^{**}X^2$	0,97	62,50	0,49	0,16	49
PVAd	$\hat{Y}=0,34+0,0100^{***}X-0,00012^{**}X^2$	0,98	41,67	0,55	0,21	62
RYve	$\hat{Y}=0,32+0,0036^{***}X-0,00004^{**}X^2$	0,99	45	0,40	0,08	25

<sup>1/</sup>Incremento = variável na DMET – variável na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N<sub>0</sub>I<sub>0</sub> em cobertura; <sup>2/</sup>Eficiência (%) =  $\{[(\text{Variável na DMET} \times 100)/(\text{variável na dose } 0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}_0\text{I}_0 \text{ em cobertura})]-100\}$

O número de nódulos, dentro das classes de solo, em função das doses de N apresentou incrementos quadráticos, exceto no LVd que apresentou incremento linear negativo (Figura 7). As DMET variaram de 28,32 a 46,77 kg ha<sup>-1</sup> de N, com eficiência variando de 8 a 70%. A maior eficiência foi observada na classe PVAd que aumentou em 27,81 o número de nódulos por planta. No entanto, o maior número de nódulos nessa classe não elevou a sua eficiência na produção de massa de vagem que foi de 9% (Tabela 4) e apresentou a pior ocupação nodular (Tabela 8).

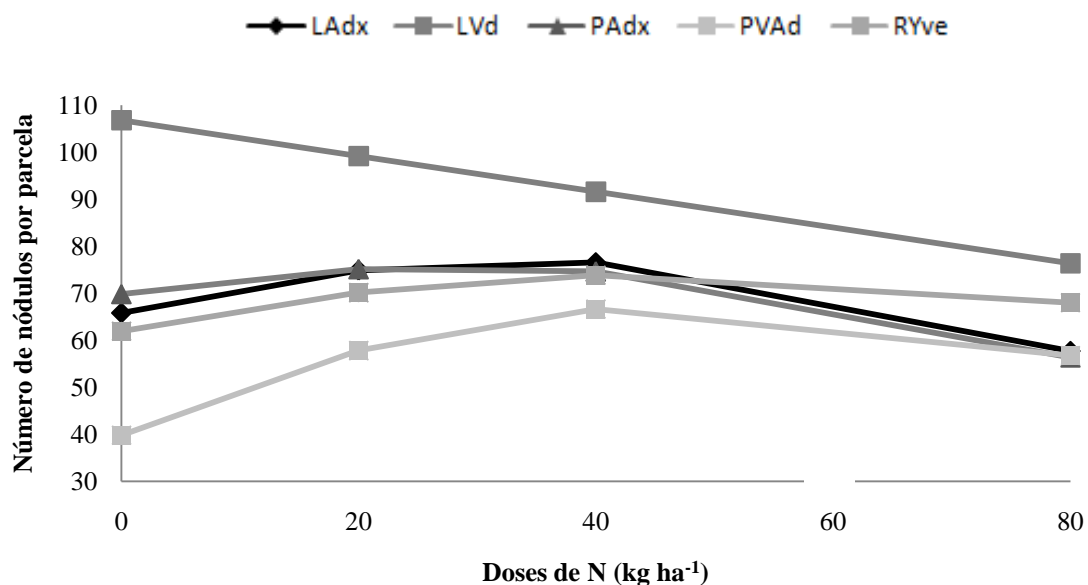


Figura 7 – Número de nódulos de feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

A massa de nódulo foi favorecida pelas doses de N em todas as classes de solos, sobretudo no LVd, que apresentou comportamento linear positivo (Figura 8). A DMET variou de 40,0 a 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionando uma eficiência em massa de nódulo que variou de 14 a 62%.

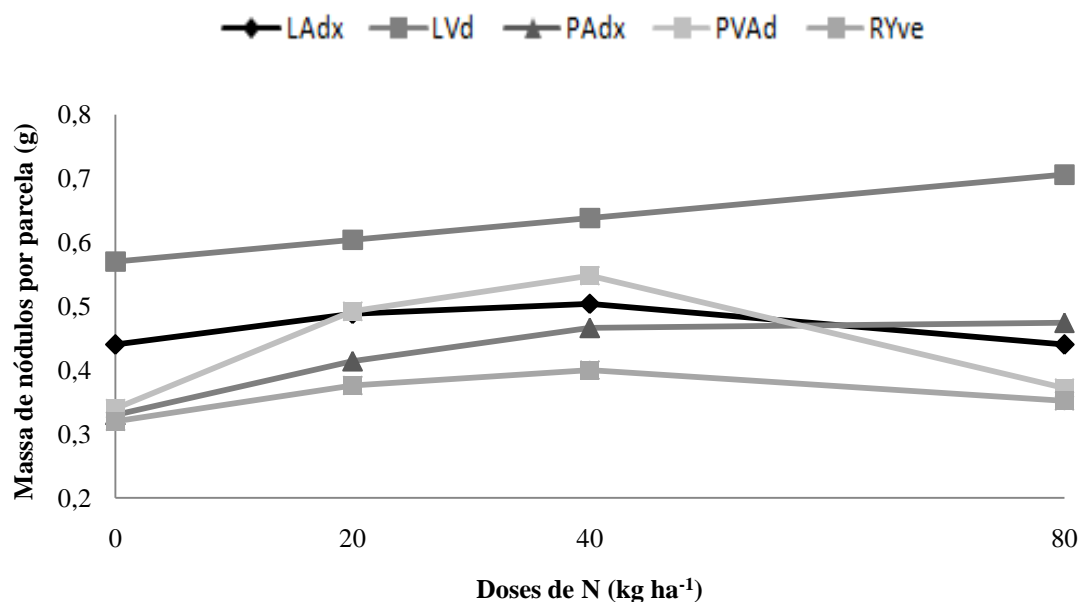


Figura 8 – Massa de nódulos feijão-caupi em plantas inoculadas com rizóbio em função fornecimento de nitrogênio via FBN e/ou adubação mineral em solo de savana de Boa Vista-RR.

Esses resultados para número de nódulos e massa de nódulos podem estar relacionados à nodulação de rizóbios nativos que em condições de boa fertilidade do solo favoreceu a sua proliferação. Porém, a efetividade da nodulação não se refletiu na massa da vagem. Pode-se constatar tais observação considerando a classe de solo PVAd que na DMET apresentou um incremento de 27,81 nódulos em relação ao tratamento que só foi inoculado. Essa mesma classe de solo teve um incremento em massa de vagem de 1,29 g e eficiência de 9%. Já o solo RYve apresentou um incremento de 12,18 nódulos que elevaram a massa da vagem em 2,31 g (18%) em relação ao tratamento só inoculado. Esses resultados indicam que não houve uma relação direta entre número de nódulos e produção de massa de vagem, como foi encontrada por Wadisirisuk e Weaver (1985) em feijão-caupi. Isso sugere que plantas com maior número de nódulos fixam mais N, embora, de acordo com Hansen et al. (1983), essa correlação não seja linear e, portanto, é necessário não só muitos nódulos, mas nódulos grandes, com maior eficiência relativa.



## 5. CONCLUSÕES

1. O efeito da inoculação nos componentes de produção do feijão-caupi variou entre os solos, enquanto que a massa de raiz, número de nódulos e massa de nódulos apresentaram incrementos pela inoculação, independentemente do solo.
2. O uso da adubação nitrogenada variando dentro dos solos afetaram positivamente a fixação simbiótica.
3. O uso de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aumenta o número de nódulos e a massa da vagem no feijão-caupi.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H; ALVAREZ, G. A. M. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 24-34, 2006.

ARAÚJO, G. A. A.; VIEIRA, C. & MIRANDA, G. V. Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre o rendimento do feijão, no período de outono-inverno. **Revista Ceres**, Viçosa, v.41, n.236, p.442-450, 1994.

ARAÚJO, W. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MEDEIROS, R. D. de; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 05, n. 03, p. 563-567, 2001.

BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; MELO, V. F.; **Estudo detalhado dos solos do campus do cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima.** 128 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Roraima. 2007.

BRITO, M. de M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da S. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de <sup>15</sup>N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:895-905, 2009.

CARNICELLI, J. H.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R.; CAMARGO, M. I. Índices de nitrogênio na planta relacionados com a produção comercial de cenoura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, Suplemento, p. 808-810, 2000.

CASTRO, I. V., Efeitos ecotoxicológicos dos metais pesados na fixação biológica do azoto em solos contaminados industrialmente. **Silva Lusitana** 8 : 165-194. 2000.

CHAGAS JÚNIOR, A. F. **Características agronômicas e ecológicas de rizóbios isolados de solos ácidos e de baixa fertilidade da Amazônia.** 158 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2007.

CHAPIN, D. M.; BLISS, L. C.; BLEDSOE, L. J. Environmental-Regulation of nitrogen fixation in a high arctic lowland ecosystem. **Canadian Journal of Botany**, v. 69, n. 12, p. 2744-2755, 1991.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, 1997, 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERREIRA, L. G. R.; MENDES FILHO, P. F.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Fixação simbiótica em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em função do déficit hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 25, p. 16–23, 1994.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV, 2000. 402p.

FRANCO, M. C.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C.; TSAI, S. M. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1145-1150, 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M; SILVA, S. M. de S.; SITTOLIN, I. M. **BRS-Guariba nova cultivar de feijão-caupi para a região Meio Norte**. Teresina: Embrapa - CPAMN. 2004. 2p. (Embrapa – CPAMN. Folder).

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 211-228.

GUEDES, G.; SOUZA, A. dos S.; ALVES, L. de S.; Eficiência agrônômica de inoculantes em feijão-caupi no Município de Pombal – PB. **Revista Verde** v.5, n.4, p. 82 – 96, 2010.

GOORMACHTIG, S.; CAPOEN, W.; JAMES, E. K.; HOLSTERS, M. Switch from intracellular to intercellular invasion during water stress-tolerant legume nodulation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 101, p.6303–6308, 2004.

GLEISSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4 ed. Porto Alegre, Universidade/UFRGS, 2009. 658p.

HANSEN, A.P.; YONEYAMA, T.; KOUCHI, H.; MARTIN, P. Respiration and nitrogen fixation of hydroponically cultured *Phaseolus vulgaris* L. cv OAC Rico and supernodulant mutant I. Growth, mineral composition and effect of sink removal. **Planta**, v.189, p.538-545, 1983.

HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L.A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbio oriundos de solos ácidos do município do Rio Preto da Eva, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, Pará, v. 48, p. 55-70, 2007.

HUNGRIA, M; BARRADAS, C.A.A.; WALLSGROVE, R.M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Experimental Botany**. 42: 839-844, 1991.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ANDRADE, D. S.; CAMPO, R. J.; CHUEIRE, L. M. O.; FERREIRA, M. C.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos**. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS, 1999. p.597-620.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with emphasis on Brasil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.

KRASOVA-WADE, T.; DIOUF, O.; NDOYE, I.; SALL, C. E.; BRACONNIER, S.; NEYRA, M. Water-condition effects on rhizobial competition for cowpea nodule occupancy. **African Journal of Biotechnology**, Kenya, v. 5, p. 1457-1463, 2006.

LACERDA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. ANDRADE, M. J. B; SOARES, A. L. L. Yield and nodulation of cowpea inoculated with selected strains. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, p. 67-82, 2004.

LIMA, A. S.; PEREIRA, J. P. A. R.; MOREIRA, F. M. S. Diversidade fenotípica e eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. de solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.11, p.1095-1104, 2005.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 902 p.

MERCANTE, F. M.; CUNHA, C. de O.; STRALIOTTO, R.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; VANDERLEYDEN, J.; FRANCO, A. A. *Leucaena leucocephala* as a trap – host for *Rhizobium tropici* strains from the Brazilian “Cerrado” region. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v. 29, p. 49–58, 1998.

MINASRI, B.; AOUBANI, M. E.; MHAMDI, R. Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 1744-1750, 2007.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

MREMA, A. F.; GRANHALL, U.; SENNERBY-FORSSE, L. Plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability. **Trees-Structure and Function**, New York, v. 12, p. 42-48, 1997.

NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A. Fixação biológica do nitrogênio na recuperação de áreas degradadas e na produtividade de solos tropicais. **Informe Agropecuário**. v. 24, n. 220, p. 64 – 72. 2003.

OLIVEIRA, A.P. **Noções de solo e nutrição de caupi**. In: I Curso de produção de caupi. 1982. EMBRAPA/CNPFA. 35 p.

OLIVEIRA, A. P.; BRUNO, R. L. A.; BRUNO, G. B.; ALVES, E. U.; PEREIRA, E. L. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 23, nº 2, p.215-221, 2001.

OLIVEIRA, A.P.; SILVA, V. R. F.; ARRUDA, F. P.; NASCIMENTO, I. S.; ALVES, A. U. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 77-80, março 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 8. ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1985. 541p.

RIBEIRO, A.C. Como evitar a perda adubos por volatilização. **Boletim informativo da SBSCS**, Campinas, v.21, n. 2, p. 43-46, 1996.

RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R., NEVES, M. C. P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 281- 335.

SANTOS, J. F.; LEMOS, J. N. R.; NOBREGA, J. Q.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P.; OLIVEIRA. M. E. Produtividade de Feijão Caupi Utilizando Biofertilizante e Uréia. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa-PB, v. 01, n. 01, p.25-29, set. 2007.

SILVA, E. F. L.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B. dos; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. Fixação biológica do N<sub>2</sub> em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 394-402, 2010.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, 4(1), 71-78, 2002.

SILVA, F. de A. S. **The ASSISTAT Software: statistical assistance**. In: International conference on computers in agriculture, 6, Cancun, Anais... Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 294-298, 1996.

SOARES, A. L. L.; PEREIRA, A. R.; FERREIRA, P. A. A; VALE, H. M. M.; LIMA, S.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência agronômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I. Caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.795-802, 2006.

SMIDERLE, O. J.; OLIVEIRA JUNIOR, J. O. L.; SCHWENGBER, D. R. **Armazenamento de sementes de diferentes materiais de feijão-caupi em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2001. 4 p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 05).

SMIDERLE, O. J.; SCHWENGBER, D. R. Rendimento e Qualidade de Sementes de Feijão-caupi em Função de Doses de Nitrogênio. **Revista Agro@ambiente** On-line, vol. 02, no. 1, jan/jun, Boa Vista-RR, 2008.

STREET, J. G. Effects of drought on nitrogen fixation in soybean root nodules. **Plant Cell and Environment**, Oxon, v. 26, p. 1199-1204, 2003.

STOCK, J.B.; STOCK, A.M.; MOTTONEN, J.M. Signal Transduction in Bacteria. **Nature**, London, v. 344, n. 6265, p. 395-400, 1990.

VILARINHO, A. A.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q. **Recomendação do cultivar de feijão-caupi BRS Guariba para cultivo em Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006. 5p. (EMBRAPA RORAIMA, Comunicado Técnico, 12).

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**, v. 38, 2008.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M. V.; RUMJANEK, N. G.; FREIRE FILHO, F. R. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 353-359, 2005.

ZHANG, W. T.; YANG, J. K.; YUAN, T. Y.; ZHOU, J. C. Genetic diversity and phylogeny of indigenous rhizobia from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 44, p. 201–210, 2007.

ZILLI, J. E.; VALICHESKI, R. R.; RUMJANEK, N. G.; SIMÕES ARAÚJO, J. L.; FREIRE FILHO, F. R. ; NEVES, M. C. P. Caracterização e avaliação da eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* em caupi nos solos de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 811-818, 2006.

ZILLI, J. E.; MARSON, L. C.; MARSON, B. F.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 04, p. 749-758, 2009.

WADISIRISUK, P.; WEAVER, R.W. Importance of bacteroid number in nodules and effective nodule mass to dinitrogen fixation by cowpeas. **Plant and Soil**, v.87, p.223-231, 1985.



WATKIN, E. L. J.; O'HARA, G. W.; GLEEN, A. R. Calcium and acid stress interact to affect the growth of *Rhizobium leguminosarum* bv *trifolii*. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 1427-1432, 1997.

WATKIN, E. L. J.; O'HARA, G. W.; HOWIESON, J. G.; GLEEN, A. R. Identification of tolerance to soil acidity in inoculant of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1393-1403, 2000.

WATKIN, E. L. J.; O'HARA, G. W.; GLENN, A. R. Physiological responses to acid stress of an acid-soil tolerant and an acid-soil sensitive strain of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxiford, v.35, p. 621-624, 2003.