

MARIA DE FÁTIMA DA SILVA

**EFETIVIDADE DA INOCULAÇÃO COM *BRADYRHIZOBIUM* SPP. EM
AMENDOIM CULTIVADO EM SOLO DA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência do solo.

Orientadora:
Dr^a. Carolina Etienne R. S. Santos

RECIFE

2007

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S586e Silva, Maria de Fátima da
Efetividade da inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em
amendoim cultivado em solo da Zona da Mata de
Pernambuco / Maria de Fátima da Silva. -- 2007.
56 f. : il.

Orientadora : Carolina Etienne de Rosália Silva Santos
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento
de Agronomia
Inclui bibliografia

CDD 631.847

1. *Arachis hypogaea*
 2. *Bradyrhizobium* sp.
 3. Fixação biológica
 4. Nitrogênio
 5. Mata, Zona da, PE
 6. Amendoim
- I. Santos, Carolina Etienne de Rosália Silva
II. Título

**EFETIVIDADE DA INOCULAÇÃO COM *BRADYRHIZOBIUM* SPP. EM
AMENDOIM CULTIVADO EM SOLO DA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO**

MARIA DE FÁTIMA DA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2007 pela banca
examinadora:

ORIENTADORA:

**Dr.^a. Carolina Etienne de Rosália Silva Santos
(UFRPE)**

EXAMINADORES:

**Dr.^a. Márcia do Vale Barreto Figueiredo
(IPA)**

**Dr.^a. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
(UFRPE)**

**Dr. Newton Pereira Stamford
(UFRPE)**

Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas;
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.

Henfil

DEDICO

À DEUS

**Por ser a sombra fresca
que me cobriu durante todos estes dias.**

À MINHA FAMÍLIA....

NELSON BEZERRA DA SILVA

MARIA DO CARMO DE OLIVEIRA

MARIA AUXILIADORA DA SILVA

SANDRA CRISTINA DA SILVA

ROSÂNGELA DA SILVA

RAFAEL DA SILVA

ELIZÂNGELA DA SILVA

ROSEÂNGELA E. DA SILVA LEÃO

ROSELIÂNGELA E. DA SILVA LEÃO

RAYANNE ÂNGELA S. SANTIAGO

MARCONI S. LEÃO JÚNIOR

...por ser meu alicerce e exemplo de amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo e que sempre ilumina os caminhos que percorremos.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar este curso e financiamento deste projeto.

A Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA, pela concessão da área e infra-estrutura para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Agrobiologia pela concessão das estirpes utilizadas neste trabalho.

A minha orientadora, Dr^a Carolina Etienne de Rosália Silva Santos, pela sua orientação em todas as etapas deste trabalho e principalmente pela sua simplicidade e serenidade.

Aos meus Co-orientadores: Prof. Dr. Newton Pereira Stamford e Dr^a. Roseane Cavalcanti dos Santos, pelas sugestões e esclarecimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

Ao Professor Dr. Mario de Andrade Lira Junior pela atenção e orientação informal.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Maria do Socorro Santana e Severino dos Ramos Basto, pelo grande apoio, atenção e por suavizar essa conquista.

Aos amigos de turma: Cícero, Dagmar, Edvan, Karina, Maria Daniela, Marise e Michelangelo, pelo companheirismo e excelente convivência.

Aos grandes amigos e companheiros desta jornada, Eliabe Roberto de Sousa, Karina Patrícia V. da Cunha, Marcelo P. P. de Asevedo e Maria Auxiliadora da Silva, suas contribuições foram imprescindíveis para conclusão deste trabalho.

Ao grande amigo Waldemar M. de Araújo pela ajuda e por ser um exemplo de serenidade e bondade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Efetividade da inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em amendoim cultivado em solo da Zona da Mata de Pernambuco

RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma oleaginosa consumida mundialmente. No Brasil é cultivada nas mais diferentes condições edafoclimáticas. Devido sua boa adaptabilidade às condições tropicais e por ser uma cultura de valor econômico, o amendoim pode ter um papel importante para a capitalização de pequenos agricultores na região Nordeste. Com o objetivo de avaliar a efetividade da inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo da Zona de Mata de Pernambuco na cultura do amendoim, foi realizado um experimento no campo, em condições de sequeiro, na Estação Experimental de Itapirema (IPA), Goiana, Pernambuco. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, no arranjo fatorial 2 X 10. Foram usadas duas cultivares de amendoim (BR 1 e BRS Havana) e 10 tratamentos como fontes de nitrogênio, 8 tratamentos com inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*; 1 tratamento sem inoculação e com fertilizante nitrogenado, aplicado na forma de Sulfato de amônio (200 kg ha⁻¹ de N); e 1 tratamento sem inoculação e sem fertilizante com N. Nos períodos de florescimento e de maturação dos frutos 6 plantas por parcela foram coletadas ao acaso, para avaliação da fixação biológica do nitrogênio (biomassa seca de nódulos, biomassa seca da parte aérea, N total acumulado na parte aérea e eficiência relativa das estirpes). No final do ciclo foram determinados: biomassa seca de 100 grãos (g); biomassa seca de 100 vagens (g), rendimento de grãos (kg ha⁻¹) e rendimento de vagens (kg ha⁻¹). Houve diferença significativa (p ≤ 0,05) para acúmulo de biomassa seca e de N da parte aérea no período de maturação dos frutos, onde o tratamento com N fertilizante foi superior aos demais. A eficiência das estirpes foi mais acentuada na cultivar BRS Havana. Não houve diferença significativa (p ≤ 0,05) entre os tratamentos para biomassa seca dos nódulos e para o rendimento de vagens e de grãos. Nas condições em que o experimento foi desenvolvido a população rizobiana nativa foi eficiente no suprimento de nitrogênio para atender a demanda deste nutriente pela cultura do amendoim.

Palavras Chaves: *Arachis hypogaea*, *Bradyrhizobium* sp., fixação biológica do nitrogênio

Effectiveness of *Bradyrhizobium* spp. Inoculation on peanut in a soil of the Brazilian Tropical Rainforest Zone

ABSTRACT

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is a legume used in the world with a high percentage of edible oil and protein and in Brazil is cropped in different soil and climatic conditions. Due to its adaptability to tropical conditions and with high economic value peanut is very important for typically small, family based properties involved in food production in the Northeastern Brazilian. With the objective to evaluate the effectiveness of peanut inoculation with selected strains of *Bradyrhizobium* spp. bacteria it was carried out a field experiment in not irrigated conditions, in a soil located at the Itapirema Experimental Station (IPA), tropical rainforest zone of Pernambuco state. The experiment was conducted in a factorial 2 x 10, in randomized block design, with four replicates. Were used two peanut cultivars (BR 1 and BRS Havana) comparing 8 peanut strains, including the controls treatments with N fertilization as ammonium sulphate (200 kg N ha⁻¹) and without nitrogen fertilizers. In the periods of flowering and grain maturity plants were collected (6 per plot) for evaluation of nitrogen fixation (dry nodules biomass, dry plant biomass, total N in shoots and relative efficiency of strains). At the final of the experiment were determined the following components of plant productivity: dry biomass of 100 grains (g); dry biomass of 100 pods (g); grain and pod yields (kg ha⁻¹). Nitrogen fertilization increased dry biomass and total N accumulation in shoots in the period of grain maturation ($p \leq 0,05$). The relative efficiency of the strains was greater on cultivar BRS Havana. *Bradyrhizobium* spp. inoculation showed no significant difference ($p \leq 0,05$) to the others treatments in reference to dry biomass of nodules. It was not observed significant difference between treatments on grain and pod yields. In the soil used the rhizobia native from soil was so effective than rhizobia applied by inoculation and they supply nitrogen to attend the N demand by peanut cropped in the used Brazilian rainforest soil.

Key word: *Arachis hypogaea*, *Bradyrhizobium* sp., biological nitrogen fixation

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Dados de precipitação pluvial (mm) durante a condução do experimento	23
FIGURA 2- Unidade experimental	24
FIGURA 3- Unidade experimental após transplântio	27
FIGURA 4- Biomassa seca dos nódulos de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos	31
FIGURA 5- Biomassa seca da parte aérea de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos	34
FIGURA 6- Acúmulo de N na parte aérea de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos	34
FIGURA 7- Eficiência relativa das estirpes nos diferentes tratamentos	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Características químicas do solo da área experimentalL	22
TABELA 2- Características físicas do solo da área experimental	23
TABELA 3- Leguminosas hospedeiras e origem das estirpes	25
TABELA 4- Análise de variância para duas cultivares de amendoim em experimento de campo	30
TABELA 5- Biomassa seca de nódulos (MSN), biomassa seca (MSPA) e acúmulo de nitrogênio (ANPA) na parte aérea e eficiência relativa das estirpes (Efr) nos períodos de floração e maturação dos grãos de duas cultivares de amendoim	31
TABELA 6- Análise de variância para duas cultivares de amendoim em experimento de campo, no esquema fatorial, estudando o efeito de fontes de nitrogênio (adubação nitrogenada, população rizobiana nativa e oito diferentes inoculantes) em Goiana, Pernambuco	39
TABELA 7- Biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, rendimento em grãos e em vagens, índice de rendimento (IR) e acúmulo de N nos grãos (ANG) em duas cultivares de amendoim	40
TABELA 8- Coeficientes de correlação entre as variáveis de fixação biológica do nitrogênio e os componentes de produtividade de duas cultivares de amendoim	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	14
2.2. Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN)	16
2.2.1. Fixação biológica do N ₂ em amendoim	17
2.2.2. Fatores que afetam a FBN	18
2.2.3. Simbiose leguminosa – rizóbio	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Localização do experimento	22
3.2 Caracterização edafoclimáticas do local	22
3.3. Unidade experimental	23
3.4 Tratamentos	24
3.5 Inoculação	26
3.6 Preparo do solo e semeadura	26
3.7 Tratos culturais	26
3.8. Coletas das plantas para avaliação da FBN	28
3.9. Coletas das plantas para avaliação da produtividade	28
3.10. Análises estatísticas	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N ₂ EM AMENDOIM	30
4.1.1. Nodulação	30
4.1.2. Biomassa Seca e Acúmulo de N da Parte Aérea	33
4.1.3. Eficiência Relativa das Estirpes	36
4.2. AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE	38
4.2.1. Produção de Biomassa Seca de 100 grãos e de 100 vagens	39
4.2.2. Rendimento de vagens e grãos e acúmulo de N nos grãos	40
4.3. CORRELAÇÕES ENTRE FBN E PRODUTIVIDADE	43
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O amendoim é uma leguminosa consumida mundialmente, seus grãos possuem altos valores nutricionais e calóricos, podendo ser utilizada na alimentação humana e animal. Cultivada em todo o Brasil devido a sua boa adaptabilidade às diversas condições edafoclimáticas, apresentando vantagens como, cultura de ciclo curto e baixo custo de produção, podendo ser consorciada ou rotacionada com outras culturas.

A cultura do amendoim requer grandes quantidades de nitrogênio para seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. 73% do nitrogênio absorvido pela planta são exportados da lavoura pelos grãos e vagens, o que a torna uma cultura dependente da fixação biológica do nitrogênio, uma vez que fertilizantes nitrogenados geralmente não são aplicados e a maioria dos solos em que é cultivada possuem quantidades insuficientes de nitrogênio.

A fixação biológica do nitrogênio é o processo realizado por microrganismos, denominados diazotróficos, que tornam o nitrogênio atmosférico em uma forma disponível (amônia) para as plantas e outros microrganismos. Esse processo constitui-se no principal meio de incorporação do nitrogênio atmosférico ao solo, sendo responsável por cerca de 65% do nitrogênio anualmente fixado na Terra (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; HUNGRIA & CAMPOS, 2005). Quando comparada ao uso de fertilizantes nitrogenados (fixação industrial), a fixação biológica apresenta vantagens como baixo custo, ausência de problemas ambientais e abundância do nitrogênio na atmosfera.

Na região Nordeste o consumo de amendoim gira em torno de 40 mil t ha⁻¹, entretanto a região só produz cerca de 27% do total consumido. A cultura não tem grande expressão econômica no Estado de Pernambuco, tendo em vista que este Estado não aparece como produtor de amendoim nas estatísticas da Conab (2007a), sendo cultivada em pequenas propriedades com baixos recursos tecnológicos, geralmente utilizando sementes de má qualidade e manejo inadequado da cultura, resultando na obtenção de produtividades abaixo do potencial da cultura.

As pesquisas com amendoim direcionadas para a região Nordeste têm se voltado para o desenvolvimento de cultivares de ciclo curto, produtivas, tolerantes ao estresse hídrico e para o consumo "*In natura*" (SANTOS *et al.*, 2005a), não levando em consideração a característica simbiótica da cultura. Por esse motivo, cultivares

produtivas normalmente não são eficientes em fixar nitrogênio em quantidades adequadas para suprir as necessidades das mesmas e promover alta produtividade. Estudos preliminares do potencial de fixação biológica do nitrogênio nas cultivares BR 1 e BRS 151 L-7, apontaram para um baixo desempenho simbiótico com isolados de diversas características morfofisiológicas obtidos em solos de Pernambuco (SANTOS, 2001).

A introdução do uso de práticas culturais adequadas para o sistema agrícola da região Nordeste, como a utilização de inoculantes com rizóbios eficientes, capazes de nodular o amendoim, otimizando a fixação biológica do nitrogênio, poderá contribuir para aumentar a produção, diminuindo os custos com fertilizantes nitrogenados e proporcionando um manejo ecológico adequado, colaborando com a preservação dos recursos ambientais.

No Brasil a prática de inoculação na cultura do amendoim não é muito utilizada, necessitando de informações técnicas que visem à caracterização da viabilidade agrônômica e econômica desta prática.

O presente trabalho objetivou avaliar a efetividade da inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em condições de campo em um Espodossolo Ferrocárbico órtico em duas cultivares de amendoim nos períodos de floração e maturação, assim como determinar a produtividade da cultura pela adição de fontes de nitrogênio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) integra o gênero *Arachis* (família Fabaceae, subfamília Papilionaceae) que engloba mais de 70 espécies (KRAPOVICKAS & GREGORY, 1994). Trata-se de uma planta originária da América do Sul, tendo sua distribuição natural restrita ao Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai (GREGORY *et al.*, 1980). Acredita-se que o centro de origem dessa leguminosa seja o Brasil, sendo também bastante cultivada na Ásia, África e América do Norte (ALLEN & ALLEN, 1991).

É uma leguminosa com altos valores nutricionais e calóricos, sendo muito utilizada na alimentação humana e animal, também pode ser adicionada ao solo como adubo verde. O principal produto econômico do amendoim é o grão, rico em óleo, proteína, vitamina E e vitaminas do complexo B.

O amendoim é cultivado em todo o Brasil, possuindo uma ampla faixa de adaptabilidade às condições edafoclimáticas. A pluviosidade ideal para a cultura do amendoim situa-se entre 500 e 600 mm/ciclo, embora tenha sido relatada a produção de grãos em torno de 5 t ha⁻¹ com uma precipitação pluviométrica de 300-400 mm no Havaí (THIES *et al.*, 1991a). Por outro lado, regiões com precipitação superior a 1000 mm/ciclo não são indicadas para a cultura, por alongar o ciclo, afetando a qualidade das vagens e sementes nas fases de colheita e armazenamento. Os solos devem ser de textura arenosa ou franco arenoso, de fertilidade média e bem drenados, com uma faixa ideal de pH situando-se entre 6,0 e 6,5 (SANTOS *et al.*, 1996).

É consumido mundialmente, e entre as oleaginosas é a quarta mais produzida internacionalmente, perdendo apenas para a soja, o algodão e a canola (GODOY *et al.*, 2005). A produção mundial de grãos de amendoim atingiu a mais de 33 milhões de toneladas anuais na safra 2004/2005 (CONAB, 2007b), deste total, 60% são destinados ao esmagamento para extração do óleo comestível, gerando um subproduto industrial (torta ou farelo) utilizado em ração animal, os 40% restantes, cerca de 13 milhões de toneladas, são utilizados *in natura* como alimento humano (SANTOS, 2000; GODOY *et al.*, 2005).

Os maiores produtores mundiais de grão de amendoim são a China com mais de 14 milhões de toneladas, a Índia com mais de 6 milhões de toneladas e os Estados Unidos com mais de 2 milhões de toneladas. O Brasil é o sétimo país produtor (produção de 0,31 milhões de toneladas de grãos), correspondendo com uma participação de 0,7% do total produzido mundialmente (CONAB, 2007b). Para o mercado externo, em especial o europeu, a preferência são pelas cultivares de película castanha e maior granulometria e para o mercado interno a preferência são pelas cultivares de película vermelha (MARTINS, 2006).

No Brasil, o amendoim representa um mercado pequeno, quando comparado a outros produtos agrícolas. Grande parte da produção é destinada para atender os mercados de alimentos, na forma *in natura* ou na produção de doces, confeitos e petiscos que, dependendo da região, pode ser cultivado em escala comercial ou em cultivos familiares (SANTOS *et al.*, 2005a).

A produção brasileira de amendoim na safra 2005/2006 atingiu 277 mil toneladas de grãos, para uma área de 117,5 mil ha. O Estado de São Paulo produziu 211,9 mil toneladas de grãos em 83,6 mil ha, correspondendo a cerca de 80% da produção de grãos, com uma produtividade média de 2.535 kg ha⁻¹ e as regiões, Nordeste, Sul e Centro-Oeste, contribuindo com o restante da produção nacional (CONAB, 2007a). Com relação às exportações, o Estado de São Paulo responde com 98% das exportações brasileiras, com o amendoim descascado (cru) representando 68,1% da quantidade exportada e o óleo bruto com 21,7% do total.

O Nordeste apresentou uma área plantada de 9,2 mil ha na safra de 2005/2006, produziu 10,6 mil toneladas de grãos, com uma produtividade média de 1.153 kg ha⁻¹, onde o Estado da Bahia aparece como maior produtor (7 mil toneladas de grãos) e com produtividade média de 1.150 kg ha⁻¹ (CONAB, 2007a).

Embora a demanda por amendoim na região Nordeste esteja em torno de 40 mil t ano⁻¹, esta só responde com cerca de 27% (GODOY *et al.*, 2005). Entretanto o cultivo do amendoim começou a despertar interesse dos pequenos e médios agricultores da região, por apresentar as vantagens de ser uma cultura de ciclo curto, adaptada às condições hídricas da região, baixo custo de produção, cultivo consorciado, melhoria na qualidade do solo e principalmente pela grande demanda do produto no mercado regional (SANTOS *et al.*, 2005a).

Devido a sua boa adaptabilidade às condições tropicais e por ser uma cultura de valor econômico maior que outras mais tradicionais como milho e feijão, o

amendoim pode ter um papel importante para a capitalização de pequenos agricultores na região Nordeste (PIMENTEL, 2000).

2.2. Fixação biológica do nitrogênio (FBN)

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial às plantas. Participando de diversos processos biológicos, como a síntese de aminoácidos, ácidos nucleicos (DNA e RNA), proteínas e enzimas, sendo responsável pelo metabolismo, crescimento e desenvolvimento de células e tecidos vegetais. Conseqüentemente a deficiência de N acarreta redução da área foliar, da assimilação fotossintética, do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas (HUNGRIA & VARGAS, 2000; HUNGRIA & CAMPOS, 2005; SINCLAIR & VADEZ, 2002). Portanto é um nutriente requerido em grandes quantidades pelas culturas, sendo comum ocorrer deficiência na maioria dos sistemas agrícolas (SMITHSON & GILLER, 2002).

A disponibilidade de N nos solos talvez seja o segundo maior fator limitante à produção agrícola (GRAHAM & VANCE, 2003), sendo um nutriente crítico para a produtividade agrícola em regiões tropicais, uma vez que a fertilidade natural desses solos é normalmente muito baixa (SANGINGA *et al.*, 1996; HUNGRIA & VARGAS, 2000). Neste contexto, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) apresenta um elevado potencial para a agricultura brasileira diminuindo a utilização de fertilizantes nitrogenados, podendo adicionar entre 70 e 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N ao sistema agrícola (CERETTA *et al.*, 1994).

A (FBN) é o processo pelo qual o nitrogênio atmosférico (N₂), indisponível, para a maioria dos organismos, se torna fisiologicamente e metabolicamente disponível, inicialmente sob a forma de amônia e, posteriormente, na ciclagem do nitrogênio (FERGUSON, 1998). Apenas um pequeno número de microrganismos na natureza, denominados diazotróficos ou fixadores de nitrogênio, é capaz de reduzir N₂ a amônia, através do complexo enzimático da nitrogenase (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Este processo é muito importante para agricultura e estima-se que várias leguminosas adicionem em torno de 200 a 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N aos solos agrícolas (PEOPLES *et al.*, 1995). A FBN se constitui na maior fonte de nitrogênio para os sistemas agrícolas e naturais (BOHLOOL *et al.*, 1992; BOGINO *et al.*, 2006).

Além de contribuir para melhorar a fertilidade natural dos solos e conseqüentemente com a produção dos sistemas agrícolas, pela diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados, onerosos e por vezes poluentes, também oferecendo condições para o suprimento natural, equilibrado e sustentável de nitrogênio (DÖBEREINER *et al.*, 1990; HUNGRIA & VARGAS, 2000; RUMJANEK *et al.*, 2005).

2.2.1. Fixação biológica do N₂ em amendoim

O amendoim é um membro da família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae* e tribo *Aeschynomeneae*. Nesta tribo, o processo de nodulação é diferente do que ocorre na maioria das leguminosas, onde os rizóbios penetram em axilas das raízes laterais e invadem as células corticais através dos espaços intercelulares. Esse processo de penetração é semelhante à pinocitose, não havendo formação de cordão de infecção (CHANDLER, 1978; CHANDLER *et al.*, 1982; BOOGERD & ROSSUM, 1997).

Do ponto de vista da FBN, o amendoim é uma planta privilegiada, pois ao contrário da maioria das leguminosas, pode sustentar a fixação de nitrogênio em condições de pouco suprimento de fotossintatos ou em prolongados períodos de escuro. Essa habilidade é atribuída à presença de corpos lipídicos localizados bem próximo à membrana peribacteróide (SIDDIQUE & BAI, 1991).

Em geral não se recomenda a aplicação de fertilizante nitrogenado na maioria dos sistemas de cultivo do amendoim, devido este adquirir N em quantidades adequadas para suprir suas necessidades através do processo de FBN. Bolonhezi *et al.* (2005), recomendam a aplicação de 10 a 16 kg ha⁻¹ de N em área em que esta cultura for plantada pela primeira vez, ou quando o pH do solo não se encontrar na faixa adequada para a fixação biológica, que se situa entre 5,9 e 6,3. Para o Estado de Pernambuco a recomendação é aplicar inoculantes que contenham bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. (CAVALCANTI *et al.*, 1998).

Ao contrário do que se acreditava, tem sido constatado certo grau de especificidade das espécies de leguminosas tropicais e os rizóbios do grupo tropical (THIES *et al.*, 1991b). A nodulação de diferentes espécies de leguminosas em solos tropicais é mais influenciada pelo hospedeiro do que pelos rizóbios existentes nesses solos (RUMJANEK *et al.*, 2005). No caso do amendoim essa diferença chega

a ser entre cultivares (SANTOS, 2001; CHEN *et al.*, 2003; TAJIMA *et al.*, 2006), evidenciando a importância de se considerar tanto a estirpe de rizóbio quanto a cultivar de amendoim a ser utilizada no programa que visem à otimização da FBN.

Estimativas da contribuição da FBN em condições de campo são bastantes variáveis e quantidades de N fixado biologicamente em amendoim encontra-se entre 33 a 297 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), Essa variabilidade pode ser atribuída aos níveis de N no solo, diferença nos genótipos da planta e do rizóbio.

Em cultivo rotacionado com a cultura de arroz, Anuar *et al.* (1995), relatam que a cultura do amendoim contribuiu com 56 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 35% do requerimento de N da cultura de arroz. Mandimba (1995), avaliando a contribuição de leguminosas para o desenvolvimento do milho, observou que a contribuição de N deixado pelo cultivo do amendoim intercalado com a cultura do milho, foi equivalente a aplicação de 96 kg ha⁻¹ de N na forma de fertilizante para a cultura do milho. Bado *et al.* (2006), comparando o cultivo rotacionado sorgo-amendoim ao monocultivo do sorgo, constataram que a rotação sorgo-amendoim aumentou o aporte de N mineral ao solo (22 kg ha⁻¹ de N) e a absorção de N pelo sorgo, sendo que rotações sucessivas por 2 anos aumentaram a produção de grãos do sorgo em até 310%.

Leguminosas, como amendoim, podem ser introduzidas em cultivos rotacionados ou intercalados com gramíneas e contribuir para a elevação da fertilidade do solo pela incorporação do nitrogênio no solo.

2.2.2. Fatores que afetam a FBN

Em condições de clima tropical, os principais fatores abióticos que afetam o potencial da FBN são: acidez do solo, toxidez de alumínio, salinidade e baixa fertilidade do solo, disponibilidade de N mineral no solo, deficiência de nutrientes como fósforo e molibdênio, altas temperaturas no solo e baixa precipitação pluviométrica (MACCIÓ *et al.*, 2002; QUAGGIO *et al.*, 2004; HUNGRIA & VARGAS, 2000; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Com relação aos fatores bióticos pode se destacar a presença de antagonistas como fungos, bactérias e bacteriófagos, além de protozoários predadores de nódulos (THIES *et al.*, 1995; TEIXEIRA *et al.*, 1996, KAHINDI *et al.*, 1997).

Thies *et al.* (1991b) e Sanginga *et al.* (1996) estudaram a nodulação de várias leguminosas em ambientes tropicais e observaram grande variação na efetividade e na faixa hospedeira, sendo necessário um manejo adequado para que se possa selecionar estirpes específicas para uso agrônômico, onde a alta produtividade e percentagem de nitrogênio fixado são essenciais.

Outro aspecto a ser observado é que muitas vezes uma estirpe eficiente utilizada como inoculante de qualidade, pode começar a perder sua eficiência algum tempo depois, devido ao uso de estirpes melhores ou mesmo de novas cultivares do hospedeiro que se associam mais eficientemente com outras bactérias (HAFEEZ *et al.*, 2001).

A observação de características relativas à especificidade é importante na seleção de estirpes que visem obtenção de um inoculante com maior afinidade com a planta hospedeira e que seja capaz de colonizar as raízes mais eficientemente do que as estirpes nativas (RUMJANEK *et al.*, 2005). Por essa razão, é comum não se verificar resultados positivos decorrentes da inoculação uma vez que as espécies indígenas ou nativas são mais adaptadas e se tornam mais competitivas deslocando rapidamente as estirpes inoculantes dos sítios de infecção (SANTOS, 2001).

O estabelecimento e efetividade de uma simbiose dependem das características genéticas da planta e da bactéria (KAHINDI *et al.*, 1997), a fixação de N_2 só começará quando a planta puder sustentar esta atividade, ou seja, até que se esgote o N presente na semente, e a planta necessitem deste nutriente (MERCANTE *et al.*, 1992). Quando o solo contém quantidade suficiente de N para suprir a demanda da planta, a quantidade de N_2 fixada será mínima, mostrando que a atividade da enzima nitrogenase é um processo regulado pela demanda de N da planta (MENGEL, 1994), assim, a quantidade de N_2 fixado é mais dependente da demanda de N pela planta do que da capacidade intrínseca do rizóbio fixar N_2 . Quanto menor a quantidade de N no solo, maior será a quantidade de N proveniente da FBN (KESSEL & HARTLEY, 2000). É possível que as populações de rizóbio sejam mais expressivas em áreas tropicais, devido às altas taxas de lixiviação de N no solo, situação que favorece as perdas de N e conseqüentemente aumenta a atividade da nitrogenase e da FBN (RUMJANEK *et al.*, 2005). Por outro lado, a ausência e baixa população efetiva dos rizóbios nativos têm limitado os benefícios da fixação do N_2 na disponibilidade do N do solo (SINGLETON & TAVARES, 1986; THIES *et al.*, 1991a).

2.2.3. Simbiose leguminosa – rizóbio

Dentre os organismos fixadores de N_2 , destacam-se as bactérias chamadas genericamente de rizóbios que se associam com plantas leguminosas. Segundo Graham & Vance (2003) a simbiose entre leguminosas e rizóbios é a fonte mais importante de N fixado biologicamente em sistemas agrícolas. Esta associação destaca-se das demais devido à sua importância econômica e pela maior eficiência do processo de fixação, decorrente de uma parceria mais evoluída entre macro e microsimbiontes chamada de simbiose (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Estima-se que 44 a 66 milhões de toneladas métricas de N_2 são fixados anualmente por leguminosas de importância agrícola, e de 3 a 5 milhões de toneladas métricas fixados por leguminosas em ecossistemas naturais, fornecendo mais da metade de todo o N usado na agricultura (GRAHAM & VANCE, 2003).

Quando estas bactérias se associam com as leguminosas, formam estruturas especializadas, denominadas de nódulos, geralmente localizados nas raízes. A formação dos nódulos é um processo complexo que ocorrem em várias etapas e envolve mudanças morfofisiológicas, tanto na célula hospedeira, como na bactéria. As mudanças na bactéria visam o recebimento de fontes de carbono da planta hospedeira, para prover o ATP e poder redutor, necessários para o processo da FBN, enquanto que as mudanças na planta hospedeira visam assimilar a amônia produzida pela bactéria (HUNGRIA & CAMPO, 2005).

Uma associação rizóbio-leguminosa eficiente, na qual a necessidade da planta por nitrogênio seja totalmente suprida pela FBN, é o alvo de muitas pesquisas que são desenvolvidas no mundo, principalmente nos trópicos (FERNANDES *et al.*, 2003, MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Por outro lado, a fixação eficiente depende de diversos fatores como temperatura, umidade, características químicas e físicas do solo, os quais influenciam tanto a planta quanto a bactéria. Um outro fator de reconhecida interferência no processo é a compatibilidade entre a planta hospedeira e o rizóbio (HERRIDGE & ROSE, 2000), que independente das condições do ambiente, permitirá ou não que o processo se estabeleça de maneira que ambos os organismos sejam favorecidos.

O uso de inoculantes contendo rizóbios, em diversas leguminosas substituindo total ou parcialmente os adubos nitrogenados, propicia uma economia significativa nos custos de produção (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). No Brasil estima-se que apenas uma pequena porcentagem de leguminosas tenha sido

investigada quanto à capacidade de FBN, evidenciando a necessidade de explorar melhor o grande potencial genético no país (HUNGRIA & CAMPOS, 2005).

Em geral, as sementes de leguminosas são inoculadas com estirpes de rizóbios já selecionadas nas grandes regiões produtoras, para as cultivares comerciais desenvolvidos pelos programas governamentais de melhoramento. Estas estirpes muitas vezes não são capazes de se desenvolverem e serem eficientes quando submetidas a condições adversas de clima e solo, como são as condições encontradas no Nordeste brasileiro, bem como não têm sido selecionadas para as cultivares locais, que são as realmente utilizadas pelos agricultores (MARTINS *et al.*, 1997; FERNANDES *et al.*, 2003).

Entretanto, pesquisas vêm sendo conduzidas nos trópicos em busca de estirpes nativas das diversas ecorregiões, mais adaptadas às condições edafoclimáticas e também eficientes em fixação do N nas condições locais. Fernandes *et al.* (2003), avaliando a eficiência simbiótica de rizóbios nativos dos tabuleiros costeiros de Sergipe, inoculados em guandu, caupi e feijão-de-porco, obtiveram isolados que proporcionaram às plantas desenvolvimento equiparado com o obtido com a inoculação das estirpes recomendadas para as culturas. Gasparino & Kozusny-Andreani (2003), avaliando a eficiência simbiótica de bactérias nativas que nodulam soja, isoladas em Fernandópolis, São Paulo, também obtiveram resultados semelhantes. Além desses, outros resultados positivos também foram encontrados por Santos (2001) e Rodrigues & Kozusny-Andreani (2003) ao testarem isolados nativos de Pernambuco e São Paulo, respectivamente, em relação à cultura do amendoim.

Programas de melhoramento que visem incremento da FBN em amendoim podem trazer contribuições para o desenvolvimento econômico da região Nordeste, tendo em vista a crescente demanda de amendoim e seus derivados no mercado regional.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, em área localizada na Estação Experimental de Itapirema (EEI), pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisa agropecuária (IPA), situada no município de Goiana a 60 km do Recife, Capital do Estado de Pernambuco.

O município de Goiana está localizado na zona fisiográfica da Mata Litorânea na Microrregião da Mata Setentrional conhecida como Mata Seca de Pernambuco. Suas coordenadas geográficas são: 7°33'38" de latitude Sul e 35°00'09" de longitude Oeste (BRASIL, 2005).

3.2 Caracterização edafoclimática do local

Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos e Argissolos nos topos de chapadas e topos residuais; pelos Argissolos e Espodossolos nas pequenas depressões nos tabuleiros; pelos Argissolos concrecionários em áreas dissecadas e encostas e Gleissolos e Neossolos nas áreas de várzeas (BRASIL, 2005).

O solo da área experimental é classificado como Espodossolo Ferrocárbico Órtico (textura arenosa), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), sendo esta área utilizada anteriormente em experimento avaliando adubação fosfatada em feijão caupi (*Vigna unguiculata*). Nas tabelas 1 e 2, estão contidos os resultados das análises químicas e físicas do solo amostradas na área experimental, na camada de 0 -20 cm (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental, na camada de 0-20 cm

pH	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	P	C. O.	N
água (1:2,5)	cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	
6,0	3,18	0,05	0,05	0,09	1,25	0,65	15,51	6,72	0,65

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental, na camada de 0-20 cm

Camada	Classe textural	Granulometria			Densidade	
		Areia	Silte	Argila	Solo	Partícula
		g kg ⁻¹			g cm ⁻³	
0-20 cm	Areia franca	852	25	123	1,38	2,59

O clima é do tipo tropical chuvoso com verão seco, com precipitações pluviométricas que variam de 1500 a 2000 mm, bem distribuídas, apresentando média anual de 1.634 mm (BRASIL, 2005).

A precipitação pluviométrica total, durante o período de condução do experimento, foi de 635 mm. Os dados diários referentes à precipitação pluvial, coletados no posto meteorológico da EEI, encontram-se na figura 1.

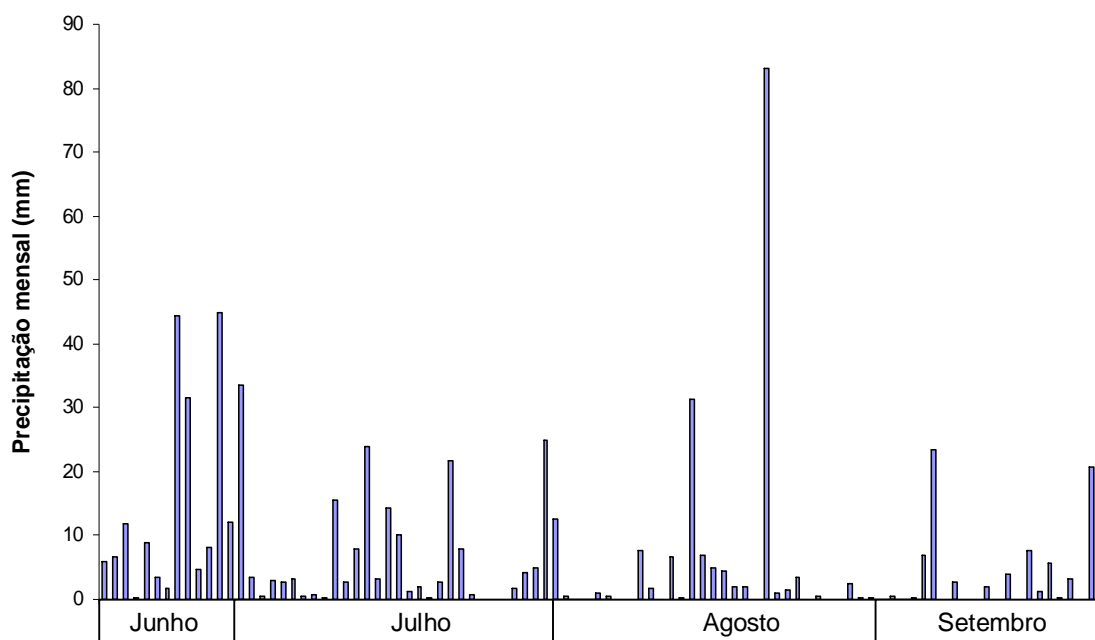


Figura 1. Dados diários de precipitação pluvial (mm) durante a condução do experimento (14 de junho a 17 de setembro de 2006)

3.3. Unidade experimental

O experimento foi constituído de 80 parcelas, com uma área total de 2.673 m². Cada parcela formada por 13 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas em 0,50 m, totalizando uma área de 24 m². A área útil de cada parcela foi de 15 m²,

correspondendo as 11 linhas centrais desprezando-se 0,5 m de cada lado e dentro desta área útil foi reservado uma área de 6 m², correspondendo as 7 linhas centrais e desprezando-se 0,5 m de cada lado da área útil, para mensuração dos componentes de produtividade (área de produção). O esquema da unidade experimental (parcela) encontra-se na Figura 2.

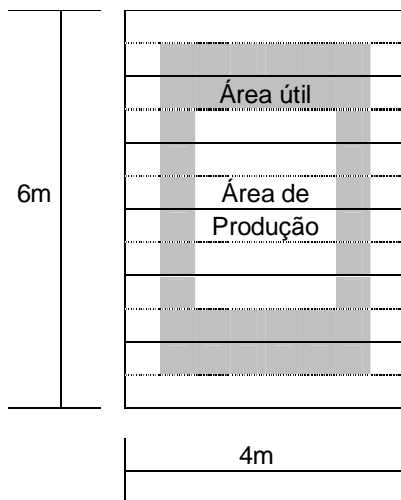


Figura 2. Unidade experimental

3.4. Tratamentos

Os tratamentos foram compostos por duas cultivares de amendoim (BR 1 e BRS Havana) avaliadas com e sem inoculação. Os tratamentos com inoculação constaram de oito estirpes rizobianas e nos tratamentos sem inoculação as cultivares foram plantadas com fertilizante nitrogenado (testemunha nitrogenada) e sem fertilizante nitrogenado (controle sem N).

As cultivares de amendoim utilizadas foram a BR 1 (película vermelha) e a BRS Havana (película bege) desenvolvidas pela Embrapa Algodão, possuindo porte ereto e ciclo curto (87 e 90 dias após emergência, respectivamente). A BR 1 é indicada para o consumo *in natura* e para indústria alimentícia, e a BRS Havana para a indústria alimentícia. Ambas possuem larga adaptação ao cultivo na região Nordeste e apresentam tolerância às cercosporioses (SANTOS *et al.*, 1999; GODOY *et al.* 2005). As sementes das duas cultivares foram provenientes da Embrapa Algodão.

Na tabela 3, encontra-se a leguminosa hospedeira e a origem das estirpes utilizadas neste experimento, sendo seis estirpes provenientes da Embrapa Agrobiologia (BR 415, BR 426, BR 1422, BR 1426, BR 1427 e BR 5353), uma estirpe (SEMIA 6144 = BR 1405 = USDA 3187 = SMS 400) recomendada pela Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE) para produção de inoculante comercial no Brasil, proveniente da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO) e uma estirpe (NFB 780) do Núcleo de Fixação biológica do nitrogênio nos Trópicos localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (NFBNT/UFRPE).

Tabela 3. Leguminosas hospedeiras e origem das estirpes

Estirpe	Leguminosa hospedeira	Origem
BR 1405	<i>Arachis hypogaea</i>	Zimbabwe - África
BR 415	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Semi-árido - Pernambuco
BR 426	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Semi-árido - Pernambuco
BR 1422	<i>Arachis hypogaea</i>	Semi-árido - Pernambuco
BR 1426	<i>Arachis hypogaea</i>	Semi-árido - Pernambuco
BR 1427	<i>Arachis hypogaea</i>	Zona da Mata - Pernambuco
BR 5353	<i>Aeschynomene americana</i>	Semi-árido - Pernambuco
NFN 780	<i>Arachis hypogaea</i>	Zona da Mata - Pernambuco

Todos os tratamentos, incluindo os sem inoculação, receberam adubação fosfatada e potássica, à base de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, usando como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. Esta adubação foi realizada de acordo com o resultado da análise química do solo e seguindo a recomendação de adubação para a cultura do amendoim no Estado de Pernambuco (CAVALCANTI *et al.*,1998). Além desta adubação, a testemunha nitrogenada recebeu 200 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, parcelado em duas vezes: 100 kg ha⁻¹ de N em fundação e 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura, 45 dias após o plantio (DAP).

3.5. Inoculação

As sementes das cultivares foram inoculadas no dia da semeadura, na proporção de 200 g do inoculante por 10 kg de sementes, utilizando-se água açucarada a 10% para preparo das pastas de inoculantes. Os inoculantes foram produzidos usando como veículo turfa esterilizada em autoclave a 120°C por uma hora, na proporção de 3:1 (turfa:caldo de cultura). As bactérias foram incubadas em meio líquido à base de extrato de levedura e manitol (YEM), composto, em g L⁻¹, por: Manitol, 10; K₂HPO₄, 0,05; MgSO₄, 0,02; NaCl, 0,01; extrato de levedura, 0,5; com pH ajustado para 6,8 em agitador rotatório a 150 rpm, a uma temperatura de 28°C por 120 horas. A utilização do caldo de cultura correspondeu à fase de crescimento log das bactérias, com concentração mínima de 10⁸ células viáveis/g de turfa.

3.6. Preparo do solo e semeadura

O solo foi preparado com uma aração seguida de duas gradagens. A primeira gradagem realizada logo após a aração e a segunda quatro dias antes da primeira semeadura. A semeadura para as cultivares BRS Havana e BR 1 foram realizadas no dias 14 e 16 de junho de 2006, respectivamente, após a inoculação das sementes, utilizando-se duas sementes por covas, a uma profundidade média de 5 cm. O espaçamento adotado para a cultura foi o de 0,50m X 0,20m, com uma densidade de 10 plantas por metro de sulco.

3.7. Tratos culturais

Devido à má qualidade das sementes e problemas fitossanitários (fungos fitopatogênicos presentes no solo) durante o plantio, ocorreram falhas e para garantir um bom stand na área útil das parcelas foi realizado o transplântio, na ocasião da primeira capina, retirando-se as plantas das linhas externas de cada parcela, quando necessárias. Deste modo a parcela útil passou a ter uma área total de 12 m² (Figura 3).

Foram realizadas duas capinas manuais, sendo a primeira aos 20 dias após o plantio (DAP) e a segunda aos 51 DAP, ocasião em que foi realizada a amontoa em todas as parcelas. Foram feitas aplicações do produto Mirex (sulfuramida 0,3%) para o controle de formigas cortadeiras (*Atta* spp. e *Acromyrrmex* ssp.) até os 18 DAP, na proporção de 8 g do produto/m² de formigueiro. E duas pulverizações com Deltametrina, aos 59 e 72 DAP, respectivamente, para o controle das pragas: cigarrinha verde (*Empoasca kraemeri*) e lagarta do pescoço vermelho (*Stegasta bosquella*) nas proporções de 30 mL 100L⁻¹ e 200 mL ha⁻¹ do produto comercial Decis 25 CE, respectivamente.

Aos 48 DAP foi constatado aparecimento de murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) nas plantas de todas as parcelas, permanecendo até o fim do ciclo da cultura, ocasionando perdas significativas na área útil das parcelas, o controle utilizado foi o de retiradas e queima das plantas infectadas semanalmente para redução do inóculo.

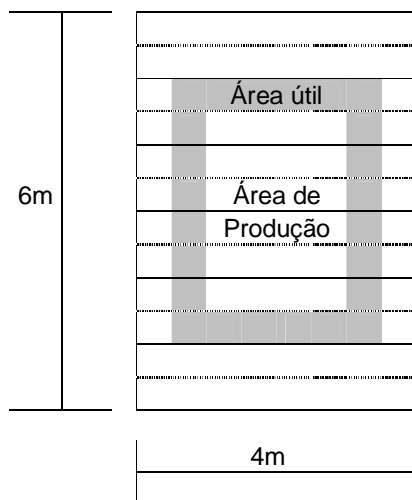


Figura 3. Unidade experimental após transplante.

3.8. Coletas das plantas para avaliação da FBN

No período de florescimento e de maturação dos frutos (36 e 86 DAP), foram coletadas ao acaso, seis plantas de cada parcela para avaliação da fixação biológica (biomassa seca de nódulos, biomassa seca e acúmulo de N na parte aérea e eficiência relativa das estirpes).

A biomassa seca da parte aérea (MSPA) foi determinada após secagem em estufa a 65°C por 72 horas. Os nódulos foram retirados das raízes e após secagem em estufa a 65°C por 72 horas foram pesados para determinação da biomassa seca de nódulos (MNS). O N acumulado na parte aérea foi calculado através da multiplicação da massa seca acumulada na parte aérea (g) pela porcentagem de N-total, onde o N-total da parte aérea foi determinado pelo método semimicro Kjeldhal, de acordo com Bremer & Mulvaney (1982).

Calculou-se a eficiência das estirpes no período de florescimento e de maturação dos frutos, em relação à produção de matéria seca do controle com N fertilizante de acordo com a fórmula sugerida por (DATE & NORRIS, 1979):

$$\text{Efr (\%)} = (\text{MSPA inoculada} / \text{MSPA com N}) \times 100$$

Onde: Efr: eficiência relativa das estirpes; MSPA inoculada: biomassa seca da parte aérea da planta inoculada; MSPA com N: biomassa seca da parte aérea da planta com N.

Foram consideradas como ineficientes as estirpes que apresentaram menos de 35% de produção de matéria seca em relação ao tratamento com adição de N fertilizante; pouco eficientes as que apresentaram de 35 a 50%; eficientes as que apresentaram de 50 a 80%; muito eficientes, as que apresentaram acima de 80%.

3.9. Coletas das plantas para avaliação da produtividade

A colheita das plantas das cultivares BR 1 e BRS Havana foram realizadas aos 92 e 96 DAP. Coletaram-se todas as plantas que estavam na área útil de 6 m² para avaliação dos componentes de produtividade. As plantas coletadas foram acondicionadas em feixes com as vagens voltadas para cima e colocadas para secagem em casa de vegetação. Quando as vagens apresentaram 8% de umidade foi realizada a limpeza destas (retiradas de restos vegetais, solo e vagens podres), para posterior determinação da biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens e rendimentos em grãos e em vagens.

A biomassa seca de 100 vagens foi obtida através da coleta de duas amostras de 100 vagens por parcela, como também a biomassa seca de 100 grãos, coletadas em duas amostras de 100 grãos por parcela.

Os rendimentos em vagens e em grãos foram determinados através do peso total de vagens e de grãos, expressos em kg ha^{-1} . O N acumulado nos grãos foi calculado através da multiplicação do total de grãos (kg ha^{-1}) pela porcentagem de N-total, onde o N-total dos grãos foi determinado pelo método semimicro Kjeldhal, de acordo com Bremer & Mulvaney (1982). O índice de rendimento (IR) em porcentagem das duas cultivares foi determinado pela relação:

$$\text{IR (\%)} = (\text{rendimento de grãos}/\text{rendimento de vagens}) \times 100.$$

3.10. Análises estatísticas

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com arranjo fatorial 2×10 (2 cultivares, oito estirpes e 2 tratamentos controles, com e sem N), com 4 repetições. Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância, utilizando o procedimento GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 1999). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂ EM AMENDOIM

Os dados apresentados na tabela 4 revelam que não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as duas cultivares e fontes de nitrogênio (N) usadas nos períodos de floração e maturação dos frutos para a produção de biomassa seca dos nódulos (MSN). Houve diferença significativa para a produção de biomassa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de nitrogênio da parte aérea (ANPA), quando usadas diferentes fontes de N nos períodos de maturação dos frutos. A eficiência relativa das estirpes, no período de maturação dos frutos, apresentou diferença significativa entre as cultivares.

Tabela 4. Análise de variância para duas cultivares de amendoim em experimento de campo, no esquema fatorial, estudando o efeito de fontes de nitrogênio (adubação nitrogenada, população rizobiana nativa e oito diferentes inoculantes) em solo de tabuleiro, Goiana, Pernambuco

Fonte de Variação	MSN ¹		MSPA ²		ANPA ³		Efr ⁴	
	Floração	Maturação	Floração	Maturação	Floração	Maturação	Floração	Maturação
Fonte de								
N	0,5681	0,6346	0,4115	0,0039	0,3163	0,0034	0,5646	0,2294
Cultivar	0,3103	0,0974	0,2166	0,8912	0,0772	0,6709	0,3011	0,0476
Fonte x								
Cultivar	0,4562	0,0749	0,9266	0,6314	0,3917	0,6474	0,9506	0,6913
R ²	0,31	0,34	0,44	0,42	0,41	0,43	0,24	0,34
CV (%)	34	51	19	40	22	41	21	49

¹Biomassa seca de nódulos (MSN); ²biomassa seca da parte aérea (MSPA); ³acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA); ⁴eficiência relativa das estirpes (Efr), nos períodos de floração e maturação dos grãos.

Na tabela 5, encontram-se os valores de biomassa seca de nódulos (MSN), biomassa seca da parte aérea da parte aérea (MSPA), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) e eficiência relativa das estirpes (Efr) das duas cultivares de amendoim utilizadas para os períodos de floração e maturação dos frutos.

Tabela 5. Biomassa seca de nódulos (MSN), biomassa seca (MSPA) e acúmulo de nitrogênio (ANPA) na parte aérea, e eficiência relativa das estirpes (Efr), nos períodos de floração e maturação dos grãos de duas cultivares de amendoim submetidos a diferentes fontes de N

Cultivar	MSN (mg/planta)		MSPA (g/planta)		ANPA (mg/planta)		Efr (%)	
	Floração	Maturação	Floração	Maturação	Floração	Maturação	Floração	Maturação
BR 1	61,66a	124,82a	3,52a	19,01a	118,01a	572,30a	86a	59b
BRS Havana	57,10a	151,18a	3,34a	19,24a	107,29a	595,18a	90a	74a
C. V.	34	51	19	40	22	41	21	49

*Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey

4.1.1. Nodulação

A avaliação da nodulação, biomassa seca de nódulos (MSN), das plantas de amendoim de todos os tratamentos nos períodos de florescimento e maturação dos frutos não diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) entre as duas cultivares e entre as diferentes fontes de N (Tabela 4 e 5). Todos os tratamentos apresentaram estatisticamente a mesma quantidade de biomassa seca dos nódulos, com médias de 59 e 138 mg planta⁻¹ para as diferentes fontes de N, nos períodos de floração e de maturação dos frutos, respectivamente. Esses valores foram maiores do que os obtidos por Lombardi *et al.* (1992), Castro *et al.* (1999) e Pimratch *et al.* (2004a).

O aumento de MSN no período de maturação dos frutos em relação ao período de floração (Figura 4) demonstra que esta leguminosa apresenta comportamento diferente da cultura da soja, onde nesta, o período de floração corresponde ao maior acúmulo de biomassa nodular, sem que ainda tenha iniciado o período de senescência dos nódulos (BOHRER & HUNGRIA, 1998).

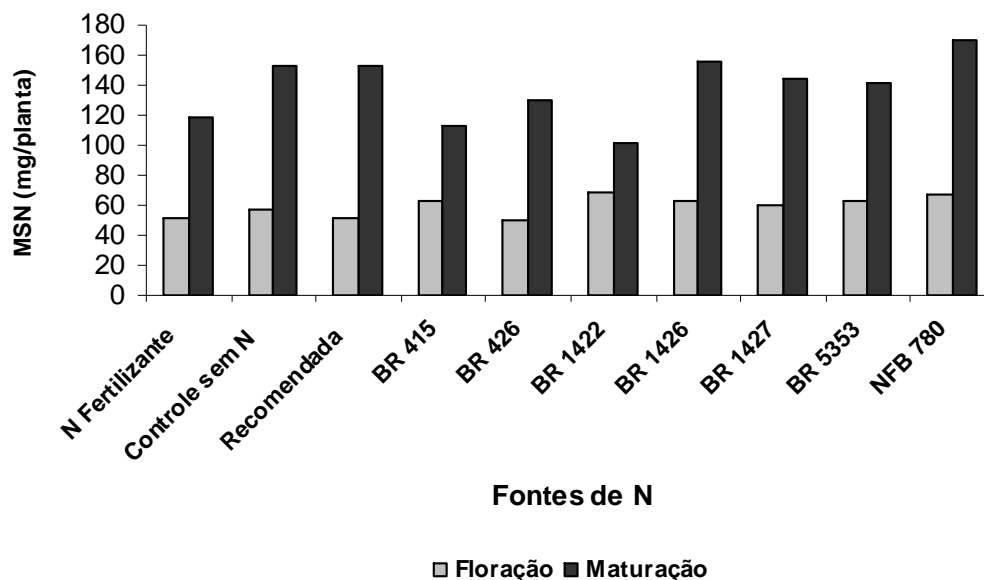


Figura 4. Biomassa seca dos nódulos de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos

Tajima *et al.* (2006), avaliando a distribuição dos nódulos nas raízes de duas cultivares de amendoim, relatam a presença de nódulos durante todo o ciclo da cultura. Neste experimento também foi encontrada a presença de nódulos até o final do ciclo (colheita), entretanto, a avaliação de nodulação foi realizada no período de floração e de maturação dos frutos. Este fato vem mostrar uma particularidade que ocorre nesta leguminosa e que deve ser melhor investigada, podendo ser considerada uma vantagem a mais para o cultivo do amendoim, uma vez que a simbiose amendoim-*Bradyrhizobium* sp. poderá fornecer quantidades suficientes de N durante todo o período de cultivo. Provavelmente, esse comportamento pode ser explicado devido esta leguminosa ser nativa da América do Sul, com provável centro de origem o Brasil, apresentando uma população rizobiana nativa bastante competitiva e eficiente na fixação de N_2 (CASTRO *et al.*, 1999; SANTOS, 2001; SANTOS *et al.*, 2005; BOGINO *et al.*, 2006), como também, uma relação simbiótica amendoim-*Bradyrhizobium* sp. eficiente. O fato das estirpes de *Bradyrhizobium* nativas serem capazes de fornecer N durante todo o ciclo da cultura é uma vantagem a mais no processo e eficiência da FBN na cultura do amendoim, como também uma vantagem econômica, uma vez que reduz a aplicação de N fertilizante.

De maneira geral, todas as estirpes foram capazes de estabelecer uma relação simbiótica eficiente com o amendoim, independente da adição de N mineral. Apesar de diversos autores como, Kessel & Hartley, 2000; Hungria & Vargas, 2000;

Daimon & Yoshioka, 2001; Rumjanek *et al.*, 2005; Moreira & Siqueira, 2006, relataram que a adubação com N fertilizante inibe o processo de nodulação e FBN, este mecanismo não tem sido completamente entendido. Neste experimento as plantas nodularam independente da fonte de N, sendo importante enfatizar que o experimento foi realizado em condições de campo, onde a presença de diversos fatores e suas interações pode ter influenciado nesta resposta.

Embora não tenha sido detectada diferença significativa para as duas cultivares e diferentes fontes de N, de um modo geral, as estirpes foram capazes de estabelecer boa nodulação no período de floração e maturação dos frutos e esta nodulação foi maior na cultivar BRS Havana, fato este também relatado por Santos, 2001; Chen *et al.*, 2003 e Tajima *et al.*, 2006, onde o processo de nodulação também difere entre cultivares de amendoim.

Considerando que a massa nodular é o indicador mais adequado para avaliar o estabelecimento de uma simbiose eficaz (CAMPOS *et al.*, 2001), todas as estirpes testadas apresentaram-se eficientes em dominar os sítios de infecção. Um dos principais fatores de limitação à resposta à inoculação consiste na competição por sítios de infecção nodular, que ocorre entre as estirpes utilizadas no inoculante e as estirpes nativas do solo (SINGLETON & TAVARES, 1986; THIES *et al.*, 1991a; THIES *et al.*, 1995), neste experimento esse fato não ocorreu, visto que as estirpes testadas apresentaram boa nodulação, por serem nativas da região, confirmando a necessidade de se buscar dentro da população rizobiana nativa, estirpes competitivas e eficientes em fixar N₂.

A quantidade de massa nodular aumentou de acordo com o período de desenvolvimento da cultura. No período de maturação esta se encontrava em maior quantidade, sendo um bom indicador da ocorrência do processo de FBN, pois neste período houve maior acúmulo de massa seca e de N na parte aérea.

Na figura 4 podemos observar que as estirpes BR 1426, BR 1427, BR 5353, NFB 780 e o controle sem N (população rizobiana nativa) apresentaram um bom desempenho no processo de nodulação no período de maturação dos frutos. Estas continuaram fornecendo N₂ por maior tempo, o que é importante, devido à demanda por N pela cultura do amendoim até o final do ciclo, conseqüentemente as estirpes que possuem a capacidade de permanecer nodulando eficientemente por mais tempo, possivelmente trará um melhor desempenho para a cultura.

4.1.2. Biomassa Seca e Acúmulo de N da Parte Aérea

Na Tabela 4 observa-se diferença altamente significativa ($p < 0,01$) para a produção biomassa seca e acúmulo de N da parte aérea das plantas de amendoim com relação às fontes de N. O tratamento com N fertilizante foi superior aos tratamentos com as diferentes estirpes e ao tratamento controle sem N (Figuras 5 e 6).

De maneira geral, a produção de biomassa seca e a quantidade de N acumulado na parte aérea das plantas de amendoim, no período de maturação de frutos foram bastante elevadas, os teores variaram de 16 a 32 g planta⁻¹ e 500 a 1000 mg planta⁻¹, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os relatos de Rodrigues Filho *et al.* (1986) e Feitosa *et al.* (1993), que demonstraram que no ponto de maturação ocorre a máxima produção de biomassa seca da parte aérea, coincidindo também com a máxima absorção de N na parte aérea das plantas.

As duas cultivares foram responsivas à adubação com N fertilizante, o que proporcionou maiores acúmulos de biomassa seca e de N na parte aérea em relação aos demais tratamentos (Figura 5 e 6), indicando que estas cultivares são dependentes do N disponível no solo, confirmando os relatos de Santos (2001), onde cultivares desenvolvidas para a Região Nordeste apresentam baixo desempenho simbiótico.

A diferença do tratamento com N fertilizante para os demais tratamentos foi possivelmente, devido ao efeito sinérgico do N do fertilizante sobre a nodulação e a FBN, uma vez que as plantas deste tratamento apresentaram MSN semelhantes aos outros tratamentos, indicando que as plantas deste tratamento utilizaram para o seu desenvolvimento e metabolismo, tanto o N proveniente do fertilizante como o da fixação biológica derivado dos tratamentos controle e inoculados.

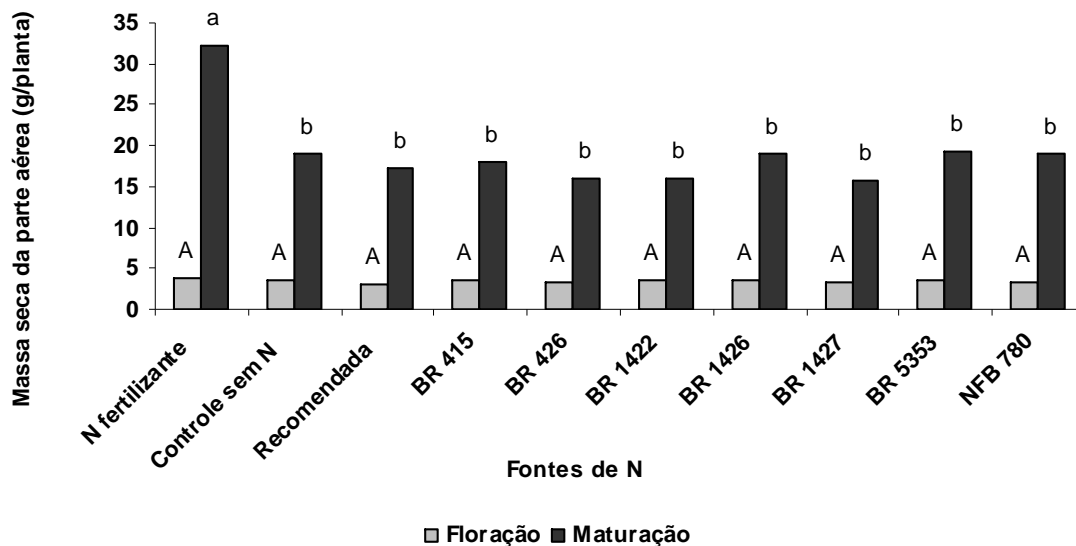


Figura 5. Produção de biomassa seca da parte aérea de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos. Valores seguidos de mesma letra maiúscula ou letra minúscula, nos períodos de floração e maturação dos frutos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

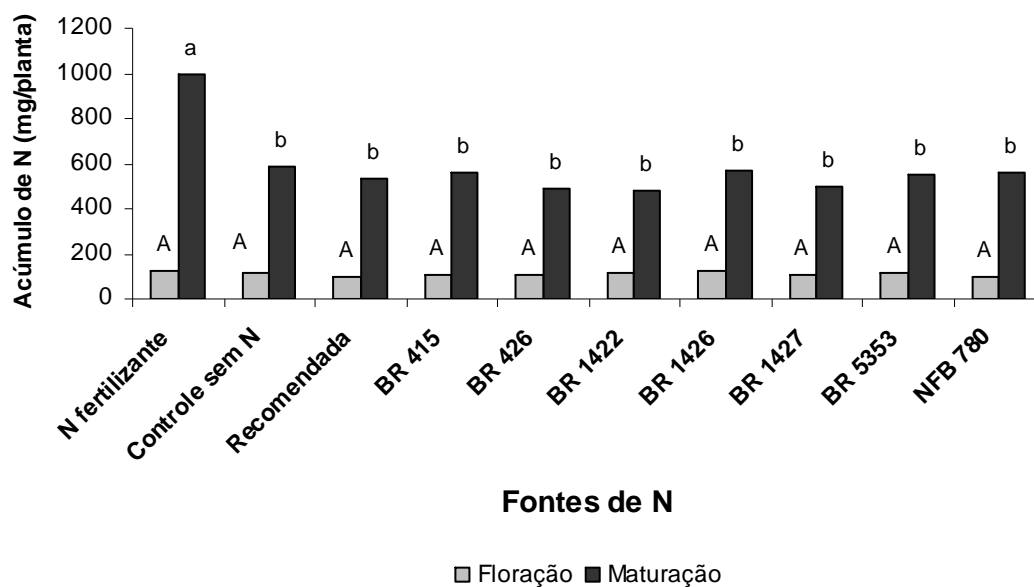


Figura 6. Acúmulo de N da parte aérea de plantas de amendoim com diferentes fontes de N, nos períodos de floração e maturação dos frutos. Valores seguidos de mesma letra maiúscula ou letra minúscula, nos períodos de floração e maturação dos frutos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Singleton & Tavares (1986), trabalhando com leguminosas tropicais em quatro locais do Havaí, observaram que o acúmulo de N na parte aérea de amendoim, foi sempre maior nos tratamentos com fertilizantes nitrogenados do que a inoculação com rizóbios. Esses autores obtiveram valores médios de acúmulo de N na ordem de 70 mg planta⁻¹ para tratamentos inoculados, enquanto que o tratamento com N fertilizante na forma de nitrato de amônio proporcionou 122 mg planta⁻¹. No presente trabalho esse comportamento não foi observado. Os teores encontrados no período de floração foram superiores aos encontrados por esses autores e variaram de 102 mg planta⁻¹ a 127 mg planta⁻¹, nos tratamentos inoculados e controle sem N e no tratamento com N fertilizante, respectivamente. Esses valores foram também maiores do que os encontrados por Santos *et al* (2005b), avaliando o potencial da FBN de seis estirpes que também foram utilizadas no experimento.

A cultura do amendoim parece ser muito exigente em N, acumulando mais na parte aérea do que precisa para suprir suas necessidades de crescimento vegetativo, e mesmo fixando N₂, responde à adição de fertilizantes nitrogenados. De acordo com Smart (1994) a cultura do amendoim possui uma capacidade de fixar N₂ e acumular N, maior do que outras leguminosas. Isto pode ser explicado pelo fato do amendoim poder sustentar a fixação de N₂ em condições de pouco suprimento de fotossintatos ou em prolongados períodos de escuro. Essa habilidade é atribuída à presença de corpos lipídicos localizados bem próximos à membrana peribacteróide (SIDDIQUE & BAL, 1991). Sendo uma vantagem a mais no processo de FBN em relação a outras leguminosas (SANTOS, 2001).

A inoculação de leguminosas com estirpes eficientes, para aumentar a produção, é uma prática agrícola muito utilizada. No entanto, para a cultura do amendoim esta prática não é muito utilizada no Brasil, por esta ser originária daqui e as estirpes nativas estão bem adaptadas e algumas possuem alta eficiência (SANTOS *et al.*, 2005b). Por outro lado, parece existir uma especificidade muito estreita entre macro e micro simbiote, chegando essa a ser específica até para as diferentes cultivares de amendoim (SANTOS, 2001; CHEN *et al.*, 2003; TAJIMA *et al.*, 2006). Os resultados obtidos evidenciam a importância de se considerar tanto a estirpe de *Bradyrhizobium* sp., como também, a cultivar utilizada nos programas que visam a otimização da FBN no sistema *Bradyrhizobium*-amendoim.

Além disso, deve-se levar em consideração, o fato da cultura do amendoim normalmente não responder a inoculação em condições de campo, principalmente quando esta cultura foi plantada anteriormente (THIES *et al.* 1991a; THIES *et al.*

1995). Este fato pode ter influenciado os resultados obtidos, uma vez que a cultura plantada anteriormente ao amendoim foi a cultura do caupi. Thies *et al* (1991b), avaliando a especificidade simbiótica do grupo de rizóbio tropical, encontraram uma taxa de 18% de *Bradyrhizobium* sp. que nodula o caupi, nodulando o amendoim. Portanto, a cultura do caupi proporcionou o estabelecimento de grupos específicos de rizóbios selecionados, conseqüentemente, o tratamento controle sem N apresentou resposta semelhante aos dos tratamentos com inoculação.

4.1.3. Eficiência Relativa das Estirpes

A eficiência relativa das estirpes (Efr) calculada em função da produção de biomassa seca do tratamento com N fertilizante, comparada com a Efr dos tratamentos inoculados e não inoculados (controle sem N) encontra-se na Tabela 5. Observou-se que houve diferença significativa entre as duas cultivares utilizadas, onde a BRS Havana foi mais responsiva aos inoculantes, embora não tenha ocorrido diferença significativa ($p \leq 0,05$) no acúmulo de biomassa seca e de N na parte área dessas cultivares.

A resposta das estirpes referentes à Efr foi maior na cultivar BRS Havana em relação à cultivar BR 1, no período de maturação. Período este, onde ocorre o maior acúmulo de biomassa seca e de N na parte aérea. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Santos, 2001; Chen *et al.*, 2003 e Tajima *et al.* 2006, confirmando a especificidade entre macro e micro simbiote, ou seja, associação amendoim-*Bradyrhizobium* são dependentes de genótipo de planta.

Apesar de não ter havido diferença significativa para o período de floração a Efr para as duas cultivares foi muito alta, acima de 85%, valor este atribuído por Date & Norris (1979) como muito eficiente. Também, não se observou diferença significativa para Efr com relação às fontes de N durante o período de floração e de maturação.

Entretanto, todas as estirpes mostraram-se de eficientes a muito eficientes no período de floração, com valores entre 78 a 92%, e eficientes no período de maturação com valores 48 a 60 %, de acordo com Date & Norris (1979), significando que todos os tratamentos foram capazes de fixar N_2 e fornecer N para o desenvolvimento vegetativo das plantas, portanto, apresentando boa eficiência quanto à fixação biológica de nitrogênio (Figura 6).

A estirpe recomendada (BR 1405), as estirpes nativas selecionadas (BR 415, BR 426, BR 1422, BR 1426, BR 1427, BR 5353 e NFB 780) e as estirpes nativas do local (controle sem N) revelaram-se eficientes e capazes de substituir 200 kg ha⁻¹ de N fertilizante na forma de sulfato de amônio, uma vez que a dose usada foi muito elevada e teve como finalidade inibir a nodulação do tratamento com N fertilizante para uma melhor avaliação da eficiência das estirpes.

Comparando-se a eficiência relativa obtida pelas estirpes nativas (tratamentos inoculados e tratamento controle sem N) com a estirpe recomendada, observa-se que todas apresentaram maior eficiência no período de floração. No período de maturação dos frutos as estirpes BR 415, BR 1426, BR 5353, NFB 780 e o controle sem N, apresentaram melhores desempenhos (Figura 6). Os resultados obtidos mostram a habilidade do amendoim estabelecer associação simbiótica capaz de suprir grande parte do N utilizado para seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, principalmente em condições de solos de baixa fertilidade sem adubação nitrogenada.

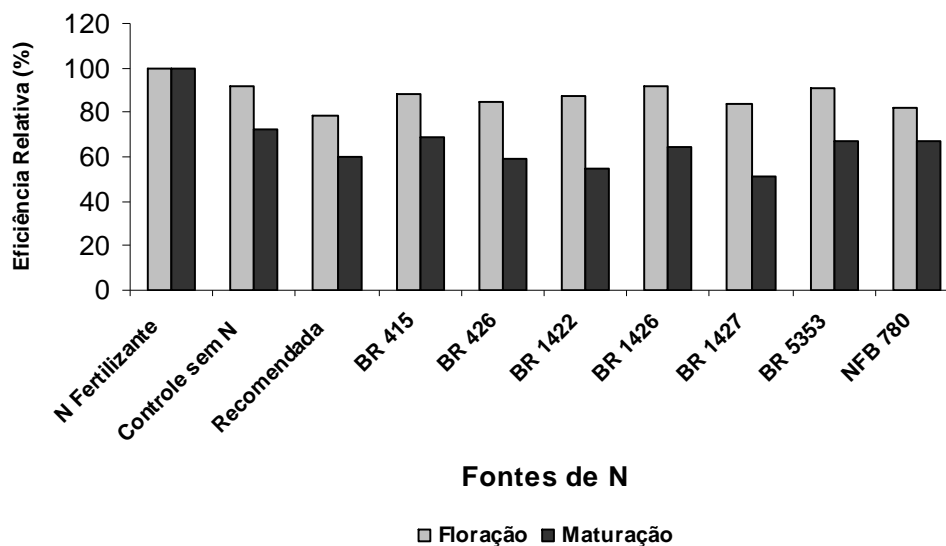


Figura 7. Eficiência Relativa nos diferentes tratamentos

Por outro lado, pouco se conhece sobre a contribuição de rizóbios nativos de clima tropical para a fixação biológica de nitrogênio em amendoim. Diversos autores estudaram a fixação de várias leguminosas, em ambientes tropicais, e observaram grande variação na eficiência dos isolados de rizóbios. As associações estudadas, entre leguminosas e rizóbios tropicais da região semi-árida do Nordeste do Brasil,

mostraram-se capazes de fixar N₂ em condições edafoclimáticas nas quais plantas e estirpes exóticas não suportariam (STAMFORD *et al* 1991; MARTINS, 1996; STAMFORD *et al.*, 1999; SANTOS *et al.*, 2005b). A seleção de estirpes nativas é a melhor forma para aumentar a contribuição da FBN para o plantio de leguminosas nessa região, por estas serem mais adaptadas e a maioria se mostra eficiente em fixar N₂ (MARTINS *et al.*, 1997; FERNANDES *et al.*, 2003).

4.2. AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Os componentes de produtividade avaliados foram: biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens em gramas e rendimento de grãos e de vagens em kg ha⁻¹. A análise de variância (Tabela 6) revelou diferenças significativas para biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, sendo altamente significativa (p<0,01) para biomassa seca de 100 vagens entre as duas cultivares de amendoim utilizadas. Entre as diferentes fontes de nitrogênio utilizadas não foram observadas diferenças significativas (p ≤ 0,05) para os componentes de produtividade avaliados.

Tabela 6. Análise de variância para duas cultivares de amendoim em experimento de campo, no esquema fatorial, estudando o efeito de fontes de nitrogênio (adubação nitrogenada, população rizobiana nativa e oito diferentes inoculantes) em Goiana, Pernambuco

Fonte de variação	Biomassa Seca (g)		Rendimento (kg ha ⁻¹)		IR ¹ (%)	ANG ² (kg ha ⁻¹)
	100 grãos	100 vagens	Grãos	Vagens		
Fonte de N	0,5527	0,9562	0,3965	0,3506	0,5482	0,3696
Cultivar	0,0134	<0,0001	0,9906	0,9663	0,5391	0,9972
Fonte x Cultivar	0,5158	0,5543	0,9824	0,9777	0,9271	0,9879
R ²	0,39	0,51	0,3	0,29	0,26	0,31
C. V.	6,24	9,53	34	30	7	33

¹Índice de rendimento (IR) e ²acúmulo de nitrogênio nos grãos (ANG)

4.2.1. Produção de Biomassa Seca de 100 grãos e de 100 vagens

Tabela 7. Biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, rendimento em grãos e em vagens, índice de rendimento e acúmulo de N nos grãos em duas cultivares de amendoim submetidos a diferentes fontes de N

Cultivar	Biomassa Seca (g)		Rendimento (kg ha ⁻¹)		IR (%)	ANG (kg ha ⁻¹)
	100 grãos	100 vagens	Grãos	vagens		
BR 1	46,32 ^b	145,98 ^b	1230,90 ^a	1991,90 ^a	60,55 ^a	72,42 ^a
BRS Havana	48,00 ^a	168,43 ^a	1231,99 ^a	1997,60 ^a	61,13 ^a	72,45 ^a
C.V.	6,24	9,53	34	30	7	33

*Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey

Verificou-se pela tabela 7 que a biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, produzidas pela cultivar BRS Havana foi superior a encontrada na cultivar BR 1, aos 95 dias. Entretanto, as diferenças observadas entre as cultivares estão de acordo com as características agrônômicas das duas cultivares relatadas por Santos *et al.* (1999) e Santos *et al.* (2006), muito embora os valores de biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, como também o de rendimento de vagens, tenham sido superiores ao dos encontrados por Araújo *et al.* (2006) utilizando a cultivar BR 1.

Apesar da biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens influenciarem no rendimento de grãos e de vagens, estas não foram suficientes para aumentar os rendimentos da cultura, essa ausência de resposta pode ser justificada pelo fato de que outros componentes de produção, como número de vagens por plantas, número de grãos por vagem e número de grãos por planta, também influenciam nos rendimentos e estes componentes não foram avaliados neste trabalho.

Diversos autores (CRUSCIOL *et al.*, 2000; NAKAGAWA *et al.*, 2000 e ARAÚJO *et al.*, 2006) relatam que o componente número de vagens por planta é o componente que mais influência no rendimento de grãos e de vagens. Sendo assim, apesar da cultivar BRS Havana apresentar maiores valores de biomassa seca de 100 grãos e de 100 vagens, apresentou menor número de vagens (dado não apresentado), o que fez com que o rendimento de grãos e de vagens nesta cultivar fosse estatisticamente semelhante aos da cultivar BR 1.

4.2.2. Rendimento de vagens e grãos e acúmulo de N nos grãos

O rendimento de vagens (Tabela 7) obtido pelas duas cultivares foram superiores aos observados por Bolonhezi *et al.* (2005) que relatam uma produtividade de 1.950 kg ha⁻¹ para a cultivar BR 1 e por Santos *et al.* (1999) e Santos *et al.* (2006) que relatam produtividades de 1.833 kg ha⁻¹ e 1.965 kg ha⁻¹ para as cultivares BR1 e BRS Havana, respectivamente. As produtividades de vagens e de grãos deste experimento poderiam ter sido maiores, entretanto, as duas cultivares utilizadas não expressaram todo seu potencial produtivo, uma vez que, o índice de rendimento destas foram 14% inferiores aos índices de rendimento das cultivares verificado por Santos *et al.* (2006). Fato esse explicado, pela ocorrência de problemas fitossanitários durante a condução do experimento. Ainda assim, as cultivares apresentaram médias de rendimentos de vagens e de grãos acima do máximo esperado.

A produtividade média de grãos correspondeu a 1.231 kg ha⁻¹, sendo maior que a produção média da região Nordeste, que se encontrava em 1.153 kg ha⁻¹ de grãos em 2006 (CONAB, 2007a). A produção de grãos do tratamento N fertilizante foi de 1.563 kg ha⁻¹, embora não seja diferente estatisticamente dos demais tratamentos, foi 32% maior que observado no tratamento controle sem N (1.186 kg ha⁻¹). Apesar das inoculações não terem aumentado o rendimento de grãos em relação ao tratamento com N fertilizante, a produção de grãos com a estirpe BR 1426 foi 18 e 15% superior ao tratamento controle sem N e ao tratamento com a estirpe recomendada (BR 1405), respectivamente.

Com relação aos nutrientes, a ordem de acúmulo em termos de quantidade pela planta de amendoim é respectivamente: N > K > Ca > Mg > P > S e Mn > B > Zn > Cu. Em termos de macronutrientes, as maiores concentrações de N, P e S se acham nas sementes, e as de Ca, Mg e K, nas partes vegetativas. A necessidade de nitrogênio pela planta para a formação e desenvolvimento das sementes é grande. Do total desse elemento absorvido pela planta, 73% é acumulado nas sementes, correspondendo a uma extração de 53 kg ha⁻¹ de N (RODRIGUES FILHO *et al.*, 1986; FEITOSA *et al.*, 1993; BOLONHEZI *et al.*, 2005). Valor este, inferior ao obtido neste experimento (72 kg ha⁻¹ de N), conseqüentemente apresentando um maior valor de proteínas nos grãos. Os tratamentos com inoculação e controle sem N, proporcionaram acúmulo de N nos grãos semelhantes aos encontrado no tratamento com N fertilizante.

Apesar das cultivares de amendoim estudadas mostrarem-se bastante responsivas a adição de fertilizante nitrogenado, durante o período de maturação dos grãos, aumentando a produção de biomassa seca e acúmulo de N na parte aérea, esse aumento não contribuiu para aumentar o rendimento de vagens e de grãos.

A produtividade verificada através do rendimento de grãos e de vagens, pelos tratamentos inoculados foi semelhante à obtida com a adição de 200 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio (tratamento com N fertilizante) e com o controle sem N (população rizobiana nativa).

A estirpe de referência para inoculação do amendoim (BR 1405), as estirpes inoculadas como também o tratamento controle sem N, mostraram-se eficientes em relação à produção de grãos e de vagens, situando-se no mesmo grupo do tratamento com N fertilizante. Esse resultado confirma a existência de uma população rizobiana nativa muito eficiente, capaz de nodular a cultura do amendoim nos solos do Nordeste do Brasil (SANTOS *et al.*, 2005b).

Segundo Singleton & Tavares (1986), o sucesso da inoculação com estirpes eficientes só ocorre se o número de rizóbios nativos disponíveis for insuficiente para nodular o hospedeiro adequadamente, e se a eficiência da fixação de N₂ da população nativa for inadequada para suprir as necessidades de nitrogênio do hospedeiro. Fato que não ocorreu no presente trabalho, onde a população de rizóbio nativo parece ser bastante eficiente, indicando a possibilidade da produção de inoculantes com as estirpes testadas.

As estirpes BR 415, BR 1426, BR 1427, BR 5353 e NFB 780, apresentaram médias de rendimento de vagens e de grãos acima da produtividade estimada para as duas cultivares utilizadas, evidenciando o potencial destas estirpes para a produção de inoculante para a cultura do amendoim na região Nordeste.

Considerando que o rendimento de grãos e de vagens são as principais características que refletem na produtividade, os resultados revelam que não houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para as diferentes fontes de N usadas neste experimento. Em todos os tratamentos verificou-se a ocorrência de nódulos nas plantas, independente da adição de N fertilizante e inoculantes. Nas condições em que este experimento foi conduzido, a população rizobiana nativa (tratamento controle sem N e os tratamentos inoculados) foi suficiente para manter a produção de grãos e de vagens, obtida pelas duas cultivares.

A nodulação no tratamento nitrogenado (N fertilizante) também foi encontrada por Mercante *et al.* (2001), onde o tratamento N fertilizante mais inoculante foi igual ao tratamento com inoculante e ambos superiores ao tratamento N fertilizante. Estes autores observaram que a inoculação com estirpes eficientes promoveu níveis de produção de vagens em torno de 2.000 kg ha⁻¹. O amendoim respondeu a inoculação, mesmo diante de uma população rizobiana nativa. Diversos autores relatam a presença abundante de estirpes nativas nodulando o amendoim em solos tropicais (NOVO *et al.*, 1998; LOMBARDI *et al.*, 1992; MERCANTE *et al.*, 2001; BOGINO *et al.*, 2006)

Os resultados obtidos assemelham-se aos encontrados por Lanier *et al.* (2005) que comparando a aplicação de N fertilizante em seis lugares diferentes, utilizando doses crescentes de N fertilizante (23, 70, 115, 160 e 210 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio) e a aplicação de inoculantes na cultura do amendoim, constataram que a produção de vagens foi diretamente proporcional às doses de N fertilizante utilizadas, muito embora a produção nos tratamentos inoculados tenha sido maior do que com a aplicação 160 kg ha⁻¹ de N fertilizante. Quando se comparou os tratamentos com 210 kg ha⁻¹ de N com os tratamentos inoculados nesses 6 lugares, observou-se diferentes respostas, em 2 lugares a produção com inoculantes foi maior, em 1 lugar a produção dos tratamentos com N fertilizante e inoculados foi igual e em 3 lugares a produção dos tratamentos inoculados foi inferior aos tratamentos com 210 kg ha⁻¹ de N (N fertilizante).

A planta de amendoim possui uma alta demanda por N para obter altas produtividades e esta demanda pode ser suprida com N fixado pela FBN, contudo, quantidades de N fixado pela simbiose entre plantas de amendoim e *Bradyrhizobium* sp., embora importantes para o seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, não necessariamente implica em maiores rendimentos de grãos e de vagens (LOMBARDI *et al.*, 1992; LANIER *et al.*, 2005; BOGINO *et al.*, 2006).

Entretanto, deve-se dar atenção à prática de inoculação de *Bradyrhizobium* sp. na cultura do amendoim, devido à redução ou o não uso de fertilizantes nitrogenados, que são geralmente onerosos e poluentes, e ao incremento de N no sistema solo-planta, importantes em solos da região Nordeste, onde estes geralmente apresentam baixa fertilidade, como também pelo fato da cultura ser plantada por pequenos agricultores com baixos recursos financeiros e tecnológicos.

4.3. CORRELAÇÕES ENTRE FBN E PRODUTIVIDADE

Na tabela 8 estão apresentados os coeficientes de correlação da FBN e de produtividade.

Os resultados indicam uma correlação altamente significativa entre biomassa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de N na parte aérea (ANPA), nos períodos de florescimento e maturação dos frutos ($r=0,86$ e $r=0,96$, respectivamente). Correlações elevadas e altamente significativas foram encontradas, entre eficiência relativa das estirpes (Efr) com MSPA e Efr com ANPA, nos dois períodos de avaliação (Tabela 8), este resultado também foi encontrado por Boher & Hungria (1998) avaliando o potencial simbiótico de cultivares de soja, indicando que estas seriam as variáveis que melhor exprime o processo da FBN.

A biomassa seca de 100 grãos correlacionou com o rendimento de grãos (RG) e de vagens (RV) e acúmulo de nitrogênio nos grãos (ANG), mostrando uma relação positiva e altamente significativa entre esses componentes, o que sugere que esta variável seja adequada para avaliação da produtividade da cultura.

De maneira geral, foram observadas correlações altamente significativas entre as variáveis da FBN (MSN, MSPA, ANPA e Efr) e os componentes de produtividade (RG, RV e ANG), onde as maiores correlações foram observadas no período de florescimento (Tabela 8). Alta correlação entre o acúmulo de MSPA e os componentes de produtividade em relação às outras características relacionadas com a fixação biológica do nitrogênio também foi encontrada por Thies *et al.* (1991a), Pimratch *et al.* (2004a e 2004b), sugerindo que o acúmulo de MSPA é a característica mais confiável para seleção de cultivares com maior potencial simbiótico em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio.

Pimratch *et al.* (2004b) relatam alta correlação entre o acúmulo de MSPA e o peso de 100 grãos, indicando que a FBN pode contribuir para aumento de produtividade, entretanto em menor escala quando comparada à contribuição para o crescimento vegetativo.

Tabela 8. Coeficientes de correlação entre as variáveis de fixação biológica do nitrogênio e os componentes de produtividade de duas cultivares de amendoim submetidos a diferentes fontes de inoculação

	MSN F	MSPA F	ANPA F	Efr F	MSN M	MSPA M	ANPA M	Efr M	MS 100 G	MS 100 V	RG	RV	ANG
MSN F	1,00												
MSPA F	0,52**	1,00											
ANPA F	0,34**	0,86**	1,00										
Efr F	0,41**	0,86**	0,76**	1,00									
MSN M	0,34*	0,01 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,02	1,00								
MSPA M	0,32**	0,46**	0,32**	0,42**	0,44*	1,00							
ANPA M	0,28**	0,44*	0,28**	0,42**	0,42**	0,96**	1,00						
Efr M	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,29**	0,44*	0,61**	0,61**	1,00					
MS 100 G	0,43**	0,44*	0,31**	0,43**	0,19 ^{ns}	0,45**	0,40**	0,21 ^{ns}	1,00				
MS 100 V	0,30**	0,27**	0,15**	0,38**	0,31**	0,24 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,30**	0,59**	1,00			
RG	0,62**	0,69**	0,54**	0,60**	0,30**	0,62**	0,59**	0,34**	0,67**	0,45**	1,00		
RV	0,63**	0,69**	0,54**	0,61**	0,33**	0,63**	0,61**	0,36**	0,68**	0,45**	0,99**	1,00	
ANG	0,58**	0,69**	0,54**	0,59**	0,30**	0,61**	0,58**	0,31**	0,68**	0,45**	0,99**	0,98**	1,00

*, **, ^{ns}: significante a 0,05, 0,01 e não significativo, respectivamente.

Biomassa seca de nódulos no florescimento (MSN F); Biomassa seca da parte aérea no florescimento (MSPA F); Acúmulo de nitrogênio na parte aérea no florescimento (ANPA F); Eficiência relativa das estirpes no florescimento (Efr F); Biomassa seca de nódulos na maturação (MSN M); Biomassa seca da parte aérea na maturação (MSPA M); Acúmulo de nitrogênio na parte aérea na maturação (ANPA M); Eficiência relativa das estirpes na maturação (EfrM); Biomassa seca de 100 grãos (MS 100 G); Biomassa seca de 100 vagens (PS 100 V); Rendimento de grãos (RG); Rendimento de vagens (RV); Acúmulo de nitrogênio nos grãos (ANG)

5. CONCLUSÕES

O amendoim pode estabelecer associação simbiótica com *Bradyrhizobium* spp. capazes de fornecer mais de 80% do nitrogênio necessário para o desenvolvimento da cultura.

As cultivares de amendoim BR 1 e BRS Havana mostraram-se responsivas a adição de N, independente da fonte de N utilizada.

As estirpes BR 415, BR 1426, BR 5353 e NFB 780 apresentaram bom potencial simbiótico;

As diferentes fontes de N utilizadas não influenciaram o rendimento de grãos e de vagens, como também não influenciou o acúmulo de N nos grãos das cultivares.

As cultivares apresentaram rendimentos e acúmulo de nitrogênio nos grãos acima do esperado para a cultura.

REFERÊNCIAS

ALLEN, O.N.; ALLEN, E.K. **The leguminosae**; a source book of characteristics, uses, and nodulation. Madison: The University of Wisconsin Press, 1991. 812 p.

ANUAR, A.R.; SHAMSUDDIN, H. YAACOB, O. Contribution of legume-N by nodulated groundnut for growth of maize on an acid soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.27, n.4, p.595-601, 1995.

ARAÚJO, A. C. et al. Cultivares, época de plantio e componentes da produção no consórcio de algodão e amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.357-363, 2006.

BADO, B.V.; BATION, A.; CESCAS, M.P. Assessment of cowpea and groundnut contributions to soil fertility and succeeding sorghum yields in the Guinean savannah zone of Burkina Faso (West Africa). **Biology and Fertility Soils**, New York, v.43, n.2, p.171-176. 2006.

BOGINO, P. et al. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to inoculation with *Bradyrhizobium* sp. in soils of Argentina, **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.148, n.3, p.207-212, 2006.

BOHLOOL, B.B. et al. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. **Pant and Soil**, The Hague, v.141, n.1/2, p.1-11, 1992.

BOHRER, T.R.J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.33, n.12, p.937-952, 1998.

BOLONHEZI, D.; GODY, I.J.; SANTOS, R.C. Manejo cultural do amendoim. In: SANTOS, R.C. (Ed.). **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005, p.193-244.

BOOGERD, F. C.; ROSSUM, V. D. Nodulation of groundnut by *Bradyrhizobium*: a simple infection process by crack entry. **FEMS Microbiology Reviews**, Oxford, v.21, n.1, p.5-27, 1997.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea – Estado de Pernambuco**: diagnóstico do município de Goiana. Recife: CPRM: PRODEEM, 2005. 11p.

BREMMER, J. M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison: Wisconsin, 1982. p.595-624.

CAMPOS, B.C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de N₂ por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.3, p.583-592, 2001.

CASTRO, S. et al. Nodulation in peanut (*Arachis hypogaea* L.) roots in the presence of native and inoculated rhizobia strains, **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.13, n.1, p.39-44, 1999.

CAVALCANTI, F. J. A. et al. **Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação)**. Recife, IPA, 1998. 198 p.

CERETTA, C.A. et al. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.215-220, 1994.

CHANDLER, M.R. Some observations on the infection of peanut, *Arachis hypogaea* L. by *Rhizobium*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.29, n.11, p.749-759, 1978.

CHANDLER, M.R.; DATE, R.A.; ROUGHLEY, R.J. Infection and root-nodule development in *Stylosantia* species by *Rhizobium*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.33, n.132, p.47-57, 1982.

CHEN,Q. et al. Diversity and compatibility of peanut (*Arachis hypogaea* L.) bradyrhizobia and their host plants. **Pant and Soil**, The Hague, v.255, n.2, p.605-617, 2003.

CONAB. **Amendoim**: período de 05 a 09/06/2006. Brasília, DF, 2006. 2p. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 jan. 2007a.

CONAB. **Amendoim**: proposta de preço mínimo safra - 2006/2007. Brasília, DF, 2006. 11p. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 jan. 2007b.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Produtividade e componentes de produção do amendoim da seca em razão da época de semeadura e da aplicação de cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.8, p.1549-1558, 2000.

DAIMON, H.; YOSHIOKA, M. Responses of root nodule formation and nitrogen fixation activity to nitrate in a split-root system in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal Agronomy & Crop Science**, Berlin, v.187, n.2, p.89-95, 2001.

DATE, R.A.; NORRIS, D.O. *Rhizobium* screening of *Stylosanthes* species for effectiveness in nitrogen fixation. **Australian Journal Agriculture Research**, Victoria, v.30, n.1, p.85-104, 1979.

DÖBEREINER, J.; PAULA, M. e MONTEIRO, E. M. S. A pesquisa em microbiologia do solo no Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.50, n.4, p.841-854, 1990.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 1999. Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 1997. 212p.

FEITOSA, C.T. et al. Avaliação do crescimento e da utilização de nutrientes pelo amendoim. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, n.3, p.427-437, 1993.

FERGUSON, S. J. Nitrogen cycle enzymology. **Chemistry Biology**, Cambridge, v.2, n.2, p.182-193, 1998.

FERNANDES, M.F.; FERNANDES, R.P.M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.38, n.7, p.835-842, 2003.

GASPARINO, A.C.; KOZUSNY-ANDREANI, D.I. Caracterização bioquímica e avaliação da capacidade simbiótica de estirpes nativas de rizóbios que nodulam soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Anais ... Ribeirão Preto, 2003, 1 CD- ROM.

GODOY, I.J. et al. Melhoramento do amendoim. In: BORÉM, A. (Ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p.55-102.

GRAHAM, P.H.; VANCE, C.P. Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant Physiology**, Rockville, v.131, n.3, p.872-877, 2003.

GREGORY, W.C.; KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, M.P. Structure, variation, evolution, and classification in *Arachis*. In: SUMMERFIELD, R.J.; BUNTING, A.H. (Ed.). **Advances in Legumes Science.**, Kew: Kew Royal Botanical Gardens, 1980. p. 469-481.

HAFEEZ, F.Y. et al. Competition between effective and less effective strains of *Bradyrhizobium* spp. for nodulation in *Vigna radiata*. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v.33, n.5, p.382-386, 2001.

HERRIDGE, D.; ROSE, I. Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.229-248, 2000.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J. Fixação biológica do nitrogênio em sistemas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...Recife**, 2005. 1 CD-ROM.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.151-164, 2000.

KAHINDI, J.H.P. et al. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam v.6, n.1, p.55-76, 1997.

KESSEL, C.V.; HARTLEY, C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? **Field Crops Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.165-181, 2000.

KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W.C. Taxonomia del genero *Arachis* (Leguminosae). **Bonplandia**, Corrientes, v.8, n.1/4, p.1-186. 1994

LANIER, J. E. et al. Peanut response to inoculation and nitrogen fertilizer. **American Society of Agronomy**, Madison, v.97, p.79-84, 2005.

LOMBARDI, M.L.C.O. et al. Respostas do amendoim à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* spp. em duas regiões paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.177-181, 1992.

MACCIÓ, D.; FABRA, A.; CASTRO, S. Acidity and calcium interaction affect the growth of *Bradyrhizobium* sp. and the attachment to peanut roots. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.34, n.2, p.201-208, 2002.

MANDIBA, G.R. Contribution of nodulated legumes on the growth of *Zea mays* L. under various cropping systems. **Symbiosis**, Philadelphia, v.19, n.22, p.213-222, 1995.

MARTINS, L.M.V. NEVES, M.C.P. & RUMJANEK, N.G. Growth characteristics and symbiotic efficiency of rizobia isolated from cowpea nodules of the noeth-east of Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.29, n.5/6, p.1005-1010, 1997.

MARTINS, L.M.V. **Aspectos ecológicos e fisiológicos de rizóbio de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) obtidos a partir de solos de diferentes regiões edafoclimáticas do Estado de Pernambuco.**1996. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARTINS, R. Cultivares de amendoim: um estudo sobre as contribuições da pesquisa pública paulista. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.36, n.5, p.37-49, 2006.

MENGEL, K. Symbiotic dinitrogen fixation: its dependence on plant nutrition and its ecophysiological impact. **Bodenk**, Weinheim, v.157, n.4, p.233-241, 1994.

MERCANTE, F.M. **A inoculação do feijoeiro comum com rizóbio.** Seropédica: Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo, 1992. 8p. (CNPBS. Comunicado técnico, 10).

MERCANTE, F.M. et al. Produtividade de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em resposta à inoculação com *Bradyrhizobium* spp. **Cerrados: Revista de Ciências Agrárias**, Campo Grande, v. 2/4, n.3/8, p.31-35, 1999/2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NAKAGAWA, J. et al. Densidades de plantas e produção de amendoim. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.67-73, 2000.

NOVO, M.C.S.S. et al. Influência de herbicidas aplicados em condições de pós-emergência no crescimento da planta e fixação simbiótica do nitrogênio na cultura do amendoim. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.2, p.276-284, 1998.

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F.; LADHA, J.K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.174, n.1/2, p.3-28, 1995.

PIMENTEL, C. R. M. A agroindústria no Nordeste Brasileiro. . In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS Jr, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-Árido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2000. p.396-406.

PIMRATCH, S. et al. Heritability and correlation for nitrogen fixation and agronomic traits of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Songklanakarin Journal Science Technology**, v.26, n.3, p.305-315, 2004.

PIMRATCH, S.; JOGLOY, S.; TOOMSAN, B.; JAISIL, P.; KESMALA, T.; PATANOTHAI, A. Evolution of seven peanut genotypes for nitrogen fixation and agronomic traits. **Songklanakarin Journal Science Technology**, v.26, n.3, p.295-304, 2004.

QUAGGIO, J. A. et al. Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.4, p.659-664,2004.

RODRIGUES, A.S.; KOZUSNY-ANDREANI, D.I. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico em diferentes cultivares de amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,29., 2003, Ribeirão Preto. Anais ... Ribeirão Preto, 2003, 1 CD- ROM.

RODRIGUES FILHO, F. S.O.; GODOY, I. J.; FEITOSA, C.T. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em plantas de amendoim cultivar Tatuí-76. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.61-66, 1986.

RUMJANEK, N.G. et al. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2005. p.279-335.

SANGINGA N. et al. Nodulation and estimation of symbiotic nitrogen fixation by herbaceous and shrub legumes in Guinea savana in Nigeria **Biology and Fertility of Soils**, New York, v.23, n.4, p.442-448, 1996.

SANTOS, R.C.; GODY, I.J.; FÁVERO, A.P. Melhoramento genético do amendoim. In: SANTOS, R.C. (Ed.). **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005a. p.123-192.

SANTOS, C.E.R.S. et al. Efetividade de rizóbios isolados da região nordeste do Brasil na fixação do N₂ em amendoim (*Arachis hypogaea*). **Acta Scientia Agronômica**, Maringá, v.27, n.2, p.301-307, 2005b.

SANTOS, C.E.R.S. **Diversidade de rizóbio nativo da Região Nordeste do Brasil capaz de nodular amendoim (*Arachis hypogaea*), *Stylosanthes* e *Aeschynomene***. 2001. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SANTOS, R. C.; VALE, L. V.; SILVA, R. R. F.; ALMEIDA, R. P.; ALMEIDA, V.M. R. A.; **Recomendações técnicas para o cultivo de amendoim precoce no período das águas**. Embrapa Algodão: Campina Grande, PB. 1996. 21p. (Circular Técnica, 20).

SANTOS, R.C. BRS 151 L-7: nova cultivar de amendoim para as condições do Nordeste Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.3, p.665-670, 2000.

SANTOS, R.C. et al. BRS Havana: nova cultivar de amendoim de pele clara. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.8, p.1337-1339, 2006.

SANTOS, R.C. et al. Estabilidade fenotípica de cultivares de amendoim avaliadas na região Nordeste do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.808-812, 1999.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system**. Procedure guide for personal computer. Cary, 1999.

SIDDIQUE, A.B.M.; BAL, A.K. Nitrogen Fixation in Peanut nodules during Dark Periods and Detopped Conditions with Special Reference to lipid bodies. **Plant Physiology**, Rockville, v.95, n.3, p.896-899, 1991.

SINCLAIR, T.R.; VADEZ, V. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. **Plant and Soil**, The Hague, v.245, n.1, p.1-15, 2002.

SINGLETON, P.W.; TAVARES, J.W. Inoculation response of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous rhizobium populations. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, US, v.51, n.5, p.1013-1018, 1986.

SMART, J. **The Groundnut Crop**: a scientific basis for improvement. London: Chapman & Hall, 1994.

SMITHSON, P.C.; GILLER, K.E. Appropriate farm management practices for alleviating N and P deficiencies in low-nutrient soils of the tropics. **Plant and Soil**, The Hague, v. 245, n.1, p.169-180, 2002.

STAMFORD, N.P. et al. Efeito da fertilização com fósforo, potássio e magnésio em jacatupé infectado com rizóbios em um Latossolo álico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.12, p.1831-1838, 1999.

STAMFORD, N.P. et al. Seleção de rizóbios para caupi cultivado em solo ácido do semi-árido do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n.4, p.545-552, 1991.

TAJIMA, R.; MORITA, S.; ABE, J. Distribution pattern of root nodules in relation to root architecture in two leading cultivares of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Japan. **Plant Production Science**, Chibahandachi, v.9, n.3, p.249-255, 2006.

TEIXEIRA, M.L.F.; COUTINHO, H.C.L.; FRANCO, A.A. Effects of *Cerotoma arcuata* (Coleoptera: *Chrysomelidae*) on predation of nodules and on N₂ of *Phaseolus vulgaris* Row crops, forage and small grains. **Entomological Society of America**, Collige Park, v.89, n.3, p.165-169, 1996.

THIES, J.E.; WOOMER, P.L.; SINGLETON, P.W. Enrichment of *Bradyrhizobium* spp. populations in soil due to cropping of the homologous host legume. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, n.4, p.633-636, 1995.

THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B. Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, US, v.57, n.1, p.19-28, 1991a.

THIES, J.E.; BOHLOOL, B.B.; SINGLETON, P.W. Subgroups of de Cowpea *miscellany*: symbiotic specificity within *Bradyrhizobium* spp. for *Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*, *Arachis hipogaea* and *Macroptilium atropurpureum*. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, US, v.57, n.5, p.1540-1545, 1991b.