UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM FEIJÃO-CAUPI E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE ESTIRPES DE RIZÓBIO PARA O ESTADO DO PIAUÍ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANTÔNIO LUÍS GALVÃO DE ALMEIDA

TERESINA-PI
2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

ANTÔNIO LUÍS GALVÃO DE ALMEIDA

DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM FEIJÃO-CAUPI E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE ESTIRPES DE RIZÓBIO PARA O ESTADO DO PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de Concentração: Produção vegetal

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega

TERESINA
PIAUÍ –2008

Ficha Catalográfica

A447d Almeida, Antônio Luís Galvão de

Diagnóstico da fertilidade dos solos cultivados com feijão-caupi e eficiência agronômica de estirpes de rizóbio para o estado do Piauí. / Antonio Luis Galvão de Almeida. – Teresina: UFPI, 2008.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.

Orientador: Profº. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega

1. Solo - Fertilidade 2. Rizóbio 3. Fixação biológica de nitrogênio 4. Feijão-Caupi I. Título.

CDD 631.42

ANTÔNIO LUÍS GALVÃO DE ALMEIDA

DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS COM FEIJÃO-CAUPI E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE ESTIRPES DE RIZÓBIO PARA O ESTADO DO PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de Concentração: Produção vegetal

APROVADA em 05 de MAIO de 2008.

_____

Profª. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega (CPCE/UFPI)

_____

Pesq. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite (EMBRAPA MEIO-NORTE)

_____

Pesq. Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho (EMBRAPA MEIO-NORTE)

_____

Profº. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega (CPCE/UFPI)
(Orientador)

TERESINA
PIAUÍ –2008

A minha família, que me deu forças e acreditou na minha capacidade, e pelas renúncias em meu nome.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que me guia através das intuições no caminho do bem, a meus queridos pais, que me educaram através dos bons exemplos, a minha esposa Maria do Carmo Brito Galvão de Almeida e a meus filhos Luana Brito Galvão de Almeida e Mateus Brito Galvão de Almeida por acreditarem na minha capacidade.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelo conhecimento e formação.

Ao Profº. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega, pela oportunidade ao aceitar-me como orientado, pela atenção dispensada e pelo conhecimento compartilhado durante a realização deste trabalho.

A Profª. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega pelo auxílio incondicional durante toda a realização do projeto.

Aos membros da banca avaliadora Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho e Luiz Fernando Carvalho Leite, que muito contribuíram para com o trabalho.

A EMBRAPA MEIO-NORTE, em nome da Dra. Rosa Maria Cardoso Mota de Alcântara que não mediu esforços para trabalharmos juntos em prol do projeto de Fixação Biológica de Nitrogênio.

Ao Profº. Dr. José Algaci Lopes da Silva pelos auxílios prestados no desenvolvimento do projeto.

Ao DNOCS em nome do Dr. Círio Carneiro Henriques que me recebeu tão bem e prestou todas as informações necessárias para o bom andamento do projeto.

Aos bolsistas Regia Maria Reis Gualter, Agenor Francisco Rocha Júnior, Ronny Sobreira Barbosa e Sara Priscilla dos Santos Amorim pelo auxílio responsável em laboratório, e pela ajuda na coleta a campo, e aos Laboratoristas Antônio Carlos dos Santos e Luís José Duarte Franco (Embrapa Meio-Norte), pelos auxílios quando solicitados.

As valiosas contribuições dos amigos do Programa de Pós-Graduação, Raimundo Nonato Benvindo, José Tadeu Santos Oliveira, Gilson Lages Forte Portela, Fabrício Brito Silva, Válber Mendes Ferreira, Ocimar de Alencar Alves Barbosa, Rommel Tito Pinheiro Castelo Branco, Eliane Rodrigues Monteiro, Solranny Carla Cavalcante Costa e Silva, Jardel Oliveira Santos e Mércia de Carvalho Almeida Rego pelo apoio no enfrentamento das dificuldades.

SUMÁRIO

Lista de tabelas..... viii
Lista de figuras..... x
Resumo Geral..... 11
General Abstract..... 12
Capítulo I..... 13
1 Introdução Geral..... 13
2 Revisão de Literatura..... 15
2.1 Produção agrícola de feijão-caupi no Brasil..... 15
2.2 Aspectos edafo-climáticos das áreas sob feijão-caupi no Nordeste brasileiro..... 15
2.3 Fixação biológica do nitrogênio no feijão-caupi: fatores que afetam a simbiose e seleção de inoculantes..... 17
2.4 Fixação biológica do nitrogênio no feijão-caupi: aspectos econômicos e produtividade..... 21
3 Referências..... 23
Capítulo 2: Atributos químicos dos solos sob cultivo com feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 27
Resumo..... 27
Abstract..... 28
1 Introdução..... 29
2 Material e método..... 30
3 Resultados e discussão..... 32
4 Conclusão..... 50
5 Referencias bibliográficas..... 51
Capítulo 3: Produtividade do feijão-caupi inoculado com estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí..... 55
Resumo..... 55
Abstract..... 56
1 Introdução..... 57
2 Material e métodos..... 59
3 Resultados e Discussão..... 62
4 Conclusões..... 66
5 Referências Bibliográficas..... 67

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1 - Valores médios de pH em água e acidez trocável (Al^{3+}) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 33

Tabela 2 - Valores médios de acidez potencial (H + Al) e saturação por Al^{3+} de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 34

Tabela 3 - Distribuição porcentual das faixas de pH, Al^{3+}, H + Al e saturação por Al^{3+} em três amostras de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 35

Tabela 4 - Teores médios de P e K^{+} de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 37

Tabela 5 - Teores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 38

Tabela 6 - Teores médios de Na^{+} e soma de bases (SB) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 39

Tabela 7 - Distribuição porcentual das faixas de P, bases trocáveis (K^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}) e soma de bases (SB) em amostras de amostragem de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 41

Tabela 8 - Valores médios de CTC efetiva (t) e potencial (T) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 44

Tabela 9 - Valores médios de porcentagem de saturação por bases (V) e sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 46

Tabela 10 - Distribuição percentual das faixas de CTC efetiva (t) e potencial (T), porcentagem de saturação por bases (V) e sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI..... 47

Tabela 11 - Matriz de correlação linear das características físicas e químicas na profundidade 0,0 – 0,40 m do Neossolo Quartzarênico do Perímetro irrigado do Caldeirão, PI. 49

Capítulo 3

Tabela 1 - Valores médios de número de nódulos por planta (NN) e matéria seca de nódulos (MSN), em função de diferentes formas de fornecimento de N..... 63

Tabela 2 - Valores médios de matéria seca da parte aérea (MSPA), eficiência relativa (Efr), nitrogênio total da parte aérea (NTPA) e acúmulo de N na parte aérea (ANPA), em função de diferentes formas de fornecimento de N..... 64

Tabela 3 - Número de vagem por planta (NVPL), peso de vagem por planta (PVPL), teor de N nos grãos (TNG), acúmulo de N nos grãos (ANG), peso de grãos por planta (PGPL) e rendimento de grãos (RG), em função de diferentes formas de fornecimento de N..... 65

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1- (A) Diagrama de ordenação das variáveis: pH; teores de P, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+; Al^{3+}; H+Al; soma de bases (SB); capacidade de toca catiônica efetiva (t) e potencial (T); saturação por alumínio (m) e bases (V) e; porcentagem de sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de caupi em lotes (1 – 24) (B) do Perímetro Irrigado Caldeirão.....48

RESUMO GERAL

O feijão-caupi é de grande importância para as regiões Norte e Nordeste do Brasil pela sua adaptabilidade às condições edafo-climáticas e ser uma das principais fontes de proteína para as populações dessas regiões. Dentre os processos que permitem a maior sustentabilidade da cultura, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é amplamente reconhecida por diminuir o custo de produção e a dependência do agricultor por insumos industrializados. Além da FBN, o conhecimento das condições de fertilidade dos solos, tradicionalmente sob cultivo de feijão-caupi, é fundamental para o direcionamento de práticas de manejo da fertilidade do solo. Considerando-se a baixa produtividade do feijão-caupi no estado do Piauí, dois estudos sobre a cultura foram conduzidos objetivando: i) diagnosticar a situação da fertilidade dos solos em áreas com histórico de cultivo entre dois e seis anos com feijão-caupi, no Perímetro Irrigado Caldeirão localizado no município de Piripiri e; ii) selecionar por meio de estudos de eficiência agronômica, estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas (BDS) para serem utilizadas como inoculante para a cultura do feijão-caupi. Para o primeiro estudo foi verificado que as amostras de solos não apresentam problemas de acidez e saturação por bases. No entanto, a maioria das amostras apresentou teores de P baixo e muito baixo. Pela análise de componentes principais observou-se que o Na^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, CTCt e CTCT foram os atributos mais determinantes em elucidar as diferenças entre os solos estudados, sendo que em seis locais de cultivo dentre as 24 glebas, o atributo de maior influência foi o Na^{+}. No segundo estudo foi verificado que a inoculação das sementes em laboratório, com as estirpes de BDS resultou em campo rendimentos de grãos equivalente a testemunha adubada com 50 kg ha^{-1} de N mineral. Dentre as estirpes recomendadas pela RELARE (Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologias de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola), a BR 3301 apresentou a maior produção de grãos, enquanto as testadas, apresentaram rendimentos igual à testemunha com 50 kg ha^{-1} de N, portanto, apresentando as estirpes BR 3267 e BR 3262, alto potencial para serem recomendadas como inoculantes para o feijão-caupi no estado do Piauí.

Palavras-chave: Rizóbio, fixação biológica de nitrogênio, fertilidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

The Cow-pea bean has great importance for the regions of North and North-east of Brazil due to its adaptability to edaphic climatic conditions and it may be one of the main protein sources for the populations of these regions. Among the processes which permit higher culture sustainability, the nitrogen biological fixation (FBN) is widely recognized for reducing the production costs and the agriculturist dependency for industrialized inputs. Besides the FBN, the knowledge of the soil fertility conditions, traditionally cultivating Cow-pea bean, is fundamental for guiding soil fertility managerial practices. Considering the low productivity of Cow-pea bean in Piauí state, two studies about the culture were conducting with the objectives: i) to diagnose the situation of soil fertility in areas with history of cultivation between two and six years with Cow-pea bean, into the Irrigated Cauldron Boundaries located in the municipality of Piripiri and; ii) selecting by means of efficiency agronomic studies, symbiotic diazoptrophic bacterial strains (SDB) for use as inoculants for the cultivation of the Cow-pea bean. For the first study it was verified soil samples which did not present acidity problems and base saturation. However, most of the samples have presented low and very low amounts of P. According to the main compound analysis it was observed that the Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, CTCt and CTCT were the most determining attributes for elucidating the differences among the studied soils, once that in six cultivar locations among the 24 glebe, the attribute of most influence was the Na^+. In the second study it was verified that the inoculation of the seeds in laboratories, with strains of BDS resulted in the field improvements of grain equivalent to the adubated witness with 50 kg ha^{-1} of N mineral. Among the strains recommended by RELARE (Laboratories Network for recommendation, paternizatin and diffusion of Microbial Inoculants Technologies of agricultural interest), the BR 3301 has shown the greatest grain production, while the tested ones, have presented an improvement similar to the witness with 50 kg ha^{-1} of N, therefore, presenting the strains BR 3267 and BR 3262, high potential for being recommended as inoculants for Cow-pea bean in Piaui State.

Index terms: Rhizobium, biological fixation of nitrogen, soil fertility.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi é cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil para produção de grãos visando à alimentação humana, por ser uma excelente fonte de proteínas (23% a 25%, em média), fato que representa o alimento básico para população de baixa renda (Amaral et al., 2005).

No Nordeste, o feijão-caupi é cultivado principalmente na região semi-árida, ocupando 60% das áreas cultivadas com feijão. A grande maioria dos produtores de feijão-caupi é constituída por pequenos agricultores, que em sistema de consórcio, associam outras culturas comuns a região, para sobrevivência. No Piauí, a produtividade média da cultura varia entre 217,10 a 740,74 kg ha $^{-1}$, conforme a safra e o tipo de cultivo (IBGE, 2006). No entanto, segundo Freire Filho et al. (2007) resultados obtidos em diversas regiões mostram que com a adoção de um nível de tecnologia compatível com a utilização da irrigação, correção do solo e adubação, um hectare de feijão-caupi pode alcançar rendimentos médios superiores a 2.500 kg ha^{-1}, independentemente da época do ano e local do estado onde ocorre o cultivo.

Um dos problemas associados à baixa produtividade da cultura tem sido a falta de um programa de nutrição mineral que se inicia com a avaliação das condições de fertilidade do solo, aspecto importante na avaliação da produtividade da cultura. Estudos realizados por Cravo & Smyth (2005) sobre a fertilidade dos solos de áreas cultivadas continuamente com feijão-caupi no Estado do Pará, mostraram que, em 82 amostras analisadas, o P, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram os elementos mais limitantes ao desenvolvimento da cultura.

Dentre as tecnologias disponíveis e que não oneram o custo de produção para a melhoria da produtividade da cultura, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é amplamente reconhecida por diminuir a dependência do agricultor por esse insumo de origem industrial. Segundo Martins et al. (2003), em estudo com seleção de bactérias simbióticas ao feijão-caupi, foi possível selecionar a estirpe BR 3267 capaz de aumentar a produtividade em até 30%. Zilli et al. (2006) afirmam que para os níveis de adoção tecnológica no estado de Roraima que em solos com baixa população de rizóbio estabelecida, a estirpe BR3267 (Semia 6462) é capaz de proporcionar rendimentos semelhantes à aplicação de 50 kg ha^{-1} de N no plantio ou 80 kg ha^{-1} de N, parcelado em duas vezes.

Considerando-se a baixa produtividade do feijão-caupi no estado do Piauí, este trabalho foi realizado objetivando: i) diagnosticar a situação da fertilidade do solo em áreas com histórico de cultivo entre dois e seis anos com feijão-caupi, no Perímetro Irrigado Caldeirão localizado no município de Piripiri-PI e; ii) selecionar por meio de estudos de eficiência agronômica, estirpes de bactérias diazotróficas simbiontes para serem utilizadas como inoculante para a cultura do feijão-caupi no Estado do Piauí.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção agrícola de feijão-caupi no Brasil

O feijão-caupi é cultivado para produção de grãos visando a alimentação humana nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. É uma excelente fonte de proteínas (23% a 25%, em média) apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura e não conter colesterol, representando o alimento básico para população de baixa renda (Amaral et al., 2005).

O cultivo de feijão-caupi é feito, principalmente, em sistema de consórcio pela grande maioria dos pequenos agricultores em cultivo de subsistência. A produtividade média para o Piauí, tem uma variação de 217,10 a 740,74 kg ha^{-1}, conforme a safra e o tipo de cultivo. A maior produtividade média é para o cultivo misto de segunda safra e a menor para o cultivo associado de primeira safra (IBGE, 2006). Segundo Amaral et al. (2005), o maior produtor do Nordeste é o estado do Ceará, com uma área plantada de 550,3 mil hectares e produção de 167,8 mil toneladas, na safra de 2002.

2.2 Aspectos edafo-climáticos das áreas sob feijão-caupi no Nordeste brasileiro

A região semi-árida do Brasil se estende por uma área que abrange a maior parte dos estados da Região Nordeste (86,48%), a região setentrional do estado de Minas Gerais (11,01%) e o norte do Espírito Santo (2,51%), ocupando uma área total de 974.752 Km^2 (Amaral et al., 2005).

Segundo Melo et al. (2005), os solos das áreas sob cultivo de feijão-caupi possuem problemas de salinidade em alguns locais da região Nordeste e, limitações de fertilidade, acidez e altos níveis de Al^{3+} trocável, principalmente na região Norte do

Brasil. Outros problemas nutricionais, principalmente ligados ao K^+ e alguns micronutrientes, tais como Zn^{2+}, Cu^{2+} e Mo, podem surgir em áreas de cerrado e tabuleiros costeiros. Dentre os macronutrientes, o P é o principal nutriente limitante à produção da cultura na Região Nordeste do Brasil (Cardoso et al., 1998; Cardoso & Melo, 1999).

Para a região semi-árida do Nordeste, devido à grande irregularidade pluviométrica, a conciliação dos períodos chuvosos e as melhores épocas de plantio, é fator determinante para o sucesso da exploração agrícola de qualquer cultura. Para o feijão-caupi, as variedades de ciclo médio (80 a 90 dias) apresentam as melhores épocas de semeadura entre o intermédio do período chuvoso da região (Amaral et al., 2005).

No geral a época de plantio está intimamente relacionada com a distribuição e quantidade da precipitação. Por isso, nas áreas onde a pluviosidade é baixa, o plantio deve coincidir com o início das chuvas, enquanto nas regiões de alta pluviosidade a época de plantio deve ser ajustada de forma que não ocorram grandes volumes de precipitação nas fases de amadurecimento e secagem dos frutos (Távora, 1982). Do ponto de vista hídrico, o semi-árido é conhecido por apenas uma pequena parcela da região que tem uma média pluviométrica anual inferior a 400 mm, enquanto que na região como um todo, essa média é de 750 mm ano^{-1}.

Quanto à temperatura do ar, segundo Amaral et al. (2005), as médias mensais entre 22°C e 25ºC, durante o ciclo vegetativo da cultura, constitui a faixa térmica ideal para um bom desenvolvimento da planta. Altas temperaturas durante o florescimento reduzem o pegamento floral, prejudicando a floração e a produção final, sendo considerada como faixa ótima, temperaturas entre 20°C e 30ºC. Temperaturas inferiores a 19ºC influenciam diretamente na produtividade da leguminosa, ocasionando o aumento do ciclo vegetativo e retardando o florescimento, enquanto temperaturas

superiores aos 35ºC acarretam também prejuízos ao desenvolvimento da cultura, pois provocam abortos espontâneos das flores, ocasionam a retenção das vagens na planta e diminuem consideravelmente o número de sementes por vagem.

A cultura do feijão-caupi exige um mínimo de 300 mm de precipitação, distribuídos regularmente durante o ciclo vegetativo da cultura, para que produza satisfatoriamente, sem a necessidade de irrigação suplementar. Regiões com níveis pluviométricos entre 250 e 500 mm são consideradas aptas para inserção da cultura. O feijão-caupi é bastante tolerante a ocorrência de períodos com déficits hídricos no início de seu desenvolvimento, sendo considerada resistente à seca, condição esta determinante em sua implantação no Nordeste. Os períodos fenológicos críticos da cultura são compreendidos entre o florescimento e enchimento dos grãos, sendo necessário nesse período um nível de umidade que satisfaça as exigências das características da cultura, para que não ocasione o comprometimento da produção (Amaral et al., 2005).

2.3 Fixação biológica do nitrogênio no feijão-caupi: fatores que afetam a simbiose e seleção de estirpes.

A família Leguminosae é conhecida por possuir várias espécies capazes de realizar simbiose com bactérias fixadoras de N (Faria et al., 1998). Grande número de espécies cultivadas, como a soja e o feijão-comum, e várias espécies de uso potencial pertencem a esta família. As bactérias induzem a formação de nódulos nas raízes e, em alguns casos, no caule, onde se alojam e converte o N a amônia, que pode ser utilizada pelas plantas.

A fixação de nitrogênio pode ser realizada por bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium, Sinorhizobium, Azorhizobium, Mesorhizobium, Burkholderia,*

Methylobacterium e *Blastobacter*, que formam simbiose com plantas da família Leguminosae (Moulin et al., 2001). Em média, os sistemas simbióticos têm maior capacidade de fixação de N devido a fonte de energia - sacarose e seus metabólitos - ser fornecida pela planta hospedeira, dentre outros fatores, como a proteção dos bacteróides contra altas pressões de O_2. A quantidade de N fixado em leguminosas está entre 50 - 400 kg ha^{-1} ano^{-1} e em não leguminosas entre 20 - 300 kg ha^{-1} ano^{-1} (Marschner, 1997).

A eficiência da FBN, entretanto, depende das condições fisiológicas da planta hospedeira que fornece a energia necessária para que a bactéria possa realizar eficientemente este processo. Além da calagem, é importante proceder a correção do solo com os demais nutrientes. Ressalta-se a importância do fornecimento de P, deficiente na maioria dos solos tropicais, o qual tem efeito marcante sobre a atividade da nitrogenase, devido ao alto dispêndio energético promovido pela atividade de FBN. O molibdênio (Mo) é um elemento-chave do centro ativo da nitrogenase, responsável pela transferência final de elétrons para o N_2, contribuindo para o processo da FBN (Jacob-Neto & Franco, 1988). Além disso, o elemento atua na redutase do nitrato, responsável pela redução do NO_3 para ser assimilado pela planta. Assim, a deficiência de Mo prejudica seriamente a fixação biológica comprometendo a produtividade de grãos de feijão-caupi.

Dentre os fatores ambientais que comprometem o processo de FBN, a ocorrência de deficiências hídricas tem efeito negativo em diferentes etapas do processo de nodulação e na atividade nodular, além de afetar a sobrevivência do rizóbio no solo. A não disponibilidade de água ocasiona interrupção no transporte dos compostos nitrogenados dos nódulos para a planta acarretando um acúmulo de amônia e produtos finais nos nódulos levando ao colapso total da FBN (Carvalho, 2002). O estresse hídrico causa uma diminuição da permeabilidade do nódulo, limitando o suprimento de

oxigênio ao bacteróide restringindo a respiração e resultando em simultâneo decréscimo na atividade da nitrogenase (Walsh, 1995).

A ocorrência de altas temperaturas afeta, também, a sobrevivência do rizóbio no solo, o processo de infecção, a formação dos nódulos e ainda a atividade de FBN. Outro fator que pode afetar diretamente a simbiose é a deficiência nutricional das plantas hospedeiras que prejudica indiretamente a FBN porque os nutrientes são fornecidos pela planta hospedeira ao bacteróide. Dessa forma, se houver algum problema na fotossíntese ou na translocação de fotossintatos e nutrientes para o bacteróide a FBN será afetada (Pimentel, 1998).

Assim, para a utilização da tecnologia de inoculação são necessárias pesquisas objetivando determinar as melhores estirpes para serem utilizadas como inoculante numa determinada região. Como já foi mencionado, as bactérias fixadoras de N sofrem interferência das condições edafo-climáticas como, por exemplo, de temperatura e umidade do solo e também da competição com bactérias nativas, podendo ter sua eficiência em fixar N comprometida. Além disso, pelo caráter promíscuo da nodulação das plantas leguminosas, várias estirpes nativas podem se associar às raízes, dificultando ainda mais a introdução de estirpes alóctones. Com freqüência, tem sido relatada uma relação inversa entre resposta à inoculação e tamanho da população de rizóbios nativos no solo (Thies et al., 1991). Tais fatores explicam, na maioria das vezes, os resultados negativos em ensaios preliminares de seleção de estirpes numa determinada região.

A seleção de estirpes que combinem eficiência na fixação de N_2, adaptação a diferentes condições edáfo-climáticas e alta competição por sítios de infecção nodulares é importante para a produção de inoculantes. No processo de seleção de estirpes é fundamental que se tenha variabilidade do microssimbionte para que se aumente a

probabilidade de sucesso da simbiose hospedeiro-rizóbio (Lacerda et al., 2004).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), o processo de seleção de estirpes para determinada espécie vegetal envolve de modo geral quatro estádios. No primeiro é verificada, em câmara de crescimento a capacidade de nodular e fixar N de um determinado número de estirpes, testadas separadamente, em tubos ou sacos plásticos com solução nutritiva livre de N na forma mineral, com ou sem ágar em condições estéreis. No segundo estádio, as estirpes selecionadas são testadas em mistura de areia e vermiculita esterilizada e solução nutritiva livre de N em vasos de Leonard em casa de vegetação. Nos estádios seguintes, estirpes selecionadas são testadas em vasos com solo na casa de vegetação e depois no campo. Estirpes que não tenham boa performance nos estádios iniciais de seleção são eliminadas, pois se não estabelecem simbiose eficiente em condições nutricionais e ambientais adequadas também não o farão nas condições mais estressantes do solo. Posteriormente, para a recomendação comercial de estirpes para uso como inoculantes, de interesse agrícola, é necessária uma análise técnica de eficiência agronômica dessas bactérias (Rumjanek et al., 2006). O fórum de discussões desses resultados tem sido a RELARE. Este leva em consideração a qualidade e eficiência dos inoculantes que são testados em delineamentos padronizados, conduzidos em, no mínimo, dois ecossistemas de importância para a cultura, durante duas safras agrícolas. Assim, a prática da inoculação será benéfica aos agricultores, quando houver incremento no rendimento dos grãos (Brockwell & Bottomby, 1995) e as estirpes tiverem a capacidade de superar ou se igualar as testemunhas controle, elas podem ser aprovadas como provisórias ou definitivas.

Apesar de ser promíscuo, nodulando com vários gêneros de rizóbio (Lewin et al., 1987) o feijão-caupi tinha até 2004 a estirpe BR2001/SEMIA 6145 (RELARE, 1985) recomendada como inoculante. Esta foi substituída pelas estirpes UFLA03-84,

INPA03 11B e BR 3267 (*Bradyrhizobium japonicum*) na RELARE (2004) (Martins et al, 2003; Lacerda et al., 2004). Atualmente, a estirpe BR 3267, além de outras que estão em estágio avançado de seleção, como a estirpe BR 3262 (*Bradyrhizobium elkanii*), obtidas pela Embrapa, estão sendo testadas em convênio com a UFPI no estado do Piauí. Assim, são necessários avaliações de suas eficiências agronômicas objetivando identificar qual melhor inoculante para as condições edafo-climáticas da região.

2.4 Fixação biológica do nitrogênio no feijão-caupi: aspectos econômicos e produtividade

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

Resultados de pesquisa para diversas leguminosas de interesse agrícola evidenciam o interesse da ampliação dos mercados na comercialização de inoculantes para outras culturas, a exemplo do feijão-caupi. Em pesquisas realizadas por Martins et al. (2003), verificou-se aumento de produtividade em 30% com a estirpe BR 3267. Lacerda et al. (2004) verificaram que a inoculação, com estirpes de bactérias simbióticas fixadoras de N contribuiu de forma significativa, entre 23,7 a 31,2 %, para o aumento no rendimento de grãos pelo feijão-caupi, em relação às plantas não inoculadas e sem N mineral em ensaio de campo em Minas Gerais. Zilli et al. (2006) sugerem para os níveis de adoção tecnológica no estado de Roraima que em solos com baixa

população de rizóbio estabelecida, a estirpe BR3267 (Semia 6462) é capaz de proporcionar rendimentos semelhantes à aplicação de 50 kg ha^{-1} de N no plantio ou 80 kg ha^{-1} de N, parcelado em duas vezes. Desse modo, sugere que se pode dispensar a adubação nitrogenada quando a inoculação de sementes for adotada. Os autores ressaltam ainda que entre as estirpes testadas, a BR 3262 e INPA 03-11B vem se mostrando as mais eficientes em termos de fixação de N na cultura do feijão-caupi em Roraima. Contudo, mesmo estas estirpes apresentaram dificuldades em competir com a população de bactérias do solo em algumas áreas. Isto mostra a necessidade de novas avaliações e isolamento de estirpes de rizóbio nativas ou naturalizadas no solo do estado. Rumjanek et al. (2005) verificaram ganhos de produtividade na cultura do feijão-caupi em Volta do Riacho, PE, com a estirpe BR 3267 alcançando patamares de até 40% em condições experimentais de campo e de até 52% por agricultores experimentadores.

Os experimentos na Embrapa visando à seleção de estirpes para compor inoculante para feijão-caupi começaram com a coleta de 38 amostras de solo em três ecossistemas do estado de Pernambuco: Zona da Mata, Agreste e Sertão. Nas análises das amostras feitas no Laboratório de Ecologia Molecular Microbiana da Embrapa Agrobiologia, foram constatados cerca de 600 tipos de rizóbios que foram caracterizados quanto à habilidade de fixar N em vários testes controlados em casa de vegetação. Desses testes, os pesquisadores selecionaram 10 isolados e passaram a submetê-los a testes em campos experimentais em ecossistema de caatinga. Para um dos isolados obtidos, identificado como estirpe BR 3267, a Embrapa obteve uma licença provisória para a comercialização desta como inoculante na RELARE realizada em junho de 2004.

Considerando os resultados obtidos em vários ensaios realizados pela EMBRAPA e demais órgãos de pesquisas com as estirpes que serão testadas neste trabalho, e também a baixa produtividade do feijão-caupi na região Meio-Norte, torna-se necessário a otimização da FBN, por meio da inoculação com estirpes de rizóbios eficientes e adaptadas à região.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J.A.B; BELTRÃO, N.E.M; SILVA, M.T. - **Zoneamento Agrícola do Feijão-Caupi no Nordeste Brasileiro Safra 2005/2006 - Estado da Paraíba**. Comunicado Técnico 253, Campina Grande, PB.

BROCKWELL, J.; BOTTOMLEY, P.J. Recent advances in technology: prospects for the future. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.683-697, 1995.

CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B. Resposta do feijão-caupi a adubação fosfatada e a densidade plantas em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo,** 27, 1999, Brasólia. **Anais...**Brasilia: SBCS/Embrapa Cerrados/UNB, 1999 (CD ROM).

CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, C.; RODRIGUES, B. H. N. Níveis de fósforo, densidade de plantas e eficiência de utilização da água em caupi de portes ramador e moita em Areia Quartzosa. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 12, Fortaleza, 1998. **Resumos expandidos...** Fortaleza: UFC/Dep. De solos, 1998.p. 146.

CARVALHO, E.A. **Avaliação agronônomica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta**. Piracicaba, 2002. 63 p.

CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J. Atributos físico-químicos e limitações dos solos de áreas

produtoras de Feijão-caupi no nordeste do Estado do Pará. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. **Resumos....**Recife: SNCS, 2005. 1 CD-ROM.

FARIA, S.M.; LIMA, H.C. Additional studies of the nodulation status of legume species in Brazil. **Plant and Soil**, v.200, p.185-192,1998.

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.de A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi:** avanços tecnológicos. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

FREIRE FILHO, F.R.; BENVINDO, R.N.; ALMEIDA, A.L.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PORTELA, G.L.F. **Caracterização de pólos de produção da cultura de feijão-caupi no estado o Piauí**. Embrapa Meio Norte, 2007, 28p. (Documento, 100)

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)** – 1997-2006.

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. **Adubação do molibdênio em feijoeiro**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1988. 4p. (Embrapa-CNPAB. Comunicado Técnico, 1).

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; MAGALHÃES, F.M.M.; ANDRADE, M.J.B.; SOARES, A.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. **Revista Ceres**, v.51, p.67-82, 2004.

LEWIN, A.; ROSENBERG, C.; MEYER, H.A.; WONG, C.; NELSON, L.; ANEN, J.F.; STANLEY, J.; DOWLING, D.N.; DÉNARIE, J.; BROUGHTON, W.J. Multiple host specificity loci of the broad host-range *Rhizobium* sp. NGR234 selected using the widely compatible legume *Vigna unguiculata*. **Plant Mol. Biol**. v.8, p.447-459, 1987.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1997. 889p.

MARTINS, L.M.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO; J.R.A.; NEVES, M.C. P.; MORGADO,L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation

to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, n.6, p. 333–339, 2003.

MELO, F.de B.; CARDOSO, M.J.; SALVIANO, A.A.C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.de A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi:** avanços tecnológicos. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Cap. 6. p. 229-242.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOULIN, L.; MUNIVE, A.; DREYFUS, B.; BOIVIN-MASSON, C. Nodulation of legumes by members of the beta-subclass of Proteobacteria. **Nature,** v.411, n.6840, p.948-950, 2001.

PIMENTEL. C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. EDUR, UFRRJ, 1998. p.128-129, 1998.

RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; NEVES, M.C.P.A. Fixação biológica de nitrogênio, In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 280 - 335. 2005

RUNJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; MARTINS, L.M.V.; NEVES, M.C.P. Feijão-caupi tem uma nova estirpe de rizóbio, BR3267, recomendada como inoculante. Embrapa Agrobiologia, 2006, 16p. (Embrapa Agrobiologia, Boletim de pesquisa e desenvolvimento 15).

TÁVORA, F. J. A. **A cultura da mamona.** Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

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 and Environmental Microbiology**, v.57, p.19-28, 1991.

WALSH, K.B. Physilogy of the legume nodule and its response to stress. **Soil biology and Biochemistry**, v.27, p.637 – 655, 1995.

ZILLI, J.E.; VALICHESKI, R.R.; RUMJANEK, N.G.; SIMÕES-ARAUJO, J.L.; FILHO, F.R.F.; NEVES, M.C.P. Eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de solo do Cerrado em caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.811-818, 2006.

CAPÍTULO 2

Atributos químicos dos solos sob cultivo com feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI

Resumo - Este trabalho teve por objetivo diagnosticar a fertilidade de um Neossolo Quartzarênico com histórico de plantio de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] no Perímetro Irrigado Caldeirão localizado no município de Piripiri, PI. De um total de 89 irrigantes, 24 lotes foram selecionados por possuírem histórico de plantio entre dois e seis anos em cultivo de segunda safra. Para cada lote foi realizada amostragens dos solos nas profundidades de 0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,4 m, em triplicata, por profundidade e lote, totalizando com isso, 216 amostras compostas. As amostras de solo foram analisadas quanto ao pH em água, teores de Na^+, K^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}; Al^{3+}, H + Al e valores de soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e potencial (T); índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio e porcentagem de sódio trocável (PST). As amostras de solos não apresentam problemas de acidez tanto em superfície quanto em subsuperfície para o desenvolvimento do feijão-caupi. Para a maioria das amostras de solo foram observados teores de P baixo e muito baixo, principalmente com o aumento da profundidade, enquanto a porcentagem de saturação por bases apresentou nível bom. Pela análise de componentes principais observou-se que o Na^+; Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, t e T foram os atributos químicos mais determinantes em elucidar as diferenças entre os solos estudados, sendo que em seis locais de cultivo, o atributo de maior influência foi o Na^+ .

Termos para indexação: fertilidade do solo, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, salinidade.

Chemical attributes of soils under cultivation with Cow-pea bean into the Cauldron irrigated perimeter, PI.

ABSTRACT

This work aimed to diagnose the fertility of a Quartzarenic Neosol with history of plantation of Cow-pea bean [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] into the irrigated perimeter of the cauldron located at the municipality of Piripiri, PI. In a total of 89 irrigated, 24 lots were selected for possessing history of plantation between two and six years cultivation second crop. For each lot soil samples were made of the soils in the depth of 0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,4 m, in triplicate, for each depth and lot, totalizing 216 composed samplings. The soil samples were analyzed in relation to the pH in water, amounts of Na^+, K^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}; Al^{3+}, H + Al and values of base sums (SB), CTC effective (t) and potential (T); saturation index per base (V) and saturation per aluminum and percentage of changeable sodium (PCS). The soil samples did not present problems of acidity in the surface as well as under the surface for development of the Cow-pea bean. For most of the soil samples were observed low and very low amounts of P, mainly with the increase of depth, while the saturation percentage per base has presented good level. Through the analysis of the main compounds it was observed that the Na^+; Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, t and T were the most determining chemical attributes for elucidating the differences among the soils studied, nevertheless it is worth saying that in six cultivars, the attribute of major influence was the Na^+ .

Index terms: Soil fertility, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, salinity.

1. INTRODUÇÃO

No Estado do Piauí, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] ocupa lugar de destaque na produção agrícola, com área em torno de 200 mil ha em cultivo de 1ª safra (janeiro a março, até meados de abril) e, 10 mil ha em cultivo de 2ª safra (entre abril e outubro), gerando cerca de 210 mil emprego ano^{-1} e uma oferta capaz de alimentar mais de 3 milhões de pessoas (Freire Filho et al., 2007).

O feijão-caupi destaca-se como espécie bem adaptada às condições de clima e solo do Piauí. Segundo Freire Filho et al. (2007), resultados obtidos em diversas regiões mostram que a adoção de tecnologia compatível com a utilização da irrigação, correção do solo e adubação, um hectare de feijão-caupi pode alcançar rendimentos médios superiores a 2.500 kg ha^{-1}. No entanto, apesar dessa perspectiva de produtividade, o cenário atual está longe do verificado pela pesquisa, em que a média de produtividade para o cultivo de 1ª safra é em torno de 369 kg ha^{-1} para as diferentes microrregiões do estado, com mínimo de 181 e máximo de 880 kg ha^{-1}, respectivamente para as microrregiões da Chapada Extremo Sul Piauiense e Alto Parnaíba Piauiense (IBGE, 2006).

A falta de uma avaliação das condições de fertilidade do solo tem sido um dos problemas associados à baixa produtividade da cultura. O diagnóstico da fertilidade do solo, por ser importante na avaliação da produtividade da cultura é também importante para orientar futuros trabalhos de pesquisa que visam à manutenção e, ou aumento da produtividade. Estudos realizados por Cravo & Smyth (2005) sobre a fertilidade dos solos de áreas cultivadas continuamente com feijão-caupi mostraram que, em 82 amostras analisadas, o P, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram os elementos mais limitantes ao desenvolvimento da cultura no Nordeste do Estado do Pará.

No Piauí, o cultivo do feijão-caupi, tradicionalmente, vem sendo feito em áreas

de agricultura de sequeiro dispersas em pequenas propriedades ao longo de todo o estado e; de forma irrigada, concentrada principalmente em perímetros de irrigação, a exemplo do Perímetro Irrigado Caldeirão localizado no município de Piripiri, PI. Para as áreas irrigadas, sabe-se que no Nordeste o manejo da água e da adubação é fundamental para a manutenção da qualidade do solo, pois os riscos de salinidade constituem uma realidade (Medeiros, 2001). Segundo Oliveira (1997), a indução da salinidade do solo na Região Nordeste decorre, principalmente, pela irrigação mal conduzida, ou pelo uso de água de qualidade duvidosa. No geral, os problemas decorridos após sucessivos anos de irrigação refletem-se na perda da fertilidade, na restrição ao movimento de ar, água, enraizamento de plantas e produtividade das culturas, fato que resulta em graves transtornos de natureza sócio-econômica e ambiental (Cavalcante et al., 2002).

Apesar dos riscos eminentes de salinização dos solos nas áreas irrigadas, aliado ao fato dos plantios serem conduzidos, na maioria das vezes, por pequenos produtores, poucos são os estudos objetivando diagnosticar a fertilidade dos solos, tradicionalmente sob cultivo de feijão-caupi na Região Nordeste, principalmente no Estado do Piauí. O objetivo deste trabalho foi diagnosticar a situação da fertilidade do solo em áreas plantadas com histórico de cultivo entre dois e seis anos com feijão-caupi, no Perímetro Irrigado Caldeirão localizado no município de Piripiri, Piauí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparo das amostras de solo

O Perímetro Irrigado Caldeirão situa-se no município de Piripiri, PI que dista 165 Km de Teresina, PI, localizado a 4°12’S e 41°46’29’’ W e altitude de 156 m. O clima na região é clasificado como Aw’, segundo Köppen, que se caracteriza por

apresentar precipitação média anual de 1.400 mm, com máxima de 1.600 mm e mínima de 1.000 mm (Jacomine et al., 1996).

Nas áreas irrigáveis desse perímetro, utiliza-se a tecnologia de irrigação por aspersão, sendo o sistema alimentado com água captada diretamente do Açude Caldeirão. Esse perímentro é dividido em setores, que por sua vez, são subdivididos em lotes com área de 2,0 a 2,5 ha por irrigante. O total de irrigantes no Perímetro Irrigado Caldeirão é de 89 e, destes, 24 possuem lotes sob cultivo de feijão-caupi em segunda safra com histórico de plantio entre dois e seis anos.

Nas áreas do Perímetro Irrigado Caldeirão, após a colheita, os restos culturais permanecem no campo e o solo é deixado em pousio até o próximo preparo do solo que ocorre no ano seguinte. O preparo tem início com a queima da área para posteriormente utilizar a grade aradora. Não há correção do solo e incorporação de matéria orgânica, mas uso de adubação química de fundação com aplicação de 200 kg ha^{-1} da fórmula 5-30-15.

O plantio de feijão-caupi é tradicionalmente feito em Neossolo Quartzarênico. Para cada lote foi realizada amostragens dos solos nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 m com três repetições. No total foram amostrados 24 lotes. Em cada lote foram demarcadas três parcelas medindo 12 x 8 m e em cada parcela foi retirada uma amostra composta por profundidade. Para cada amostra composta foram retiradas oito amostras simples. Com isso, o total de amostras retiradas foi de 216 compostas cada uma com massa aproximada de 0,5 kg.

As amostras de solo foram analisadas quanto ao pH em água (relação solo: solução 1:2,5); teores de Na^{+}, K^{+}; Ca^{2+}; Mg^{2+}; Al^{3+}, H + Al e valores de soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e potencial (T); índice de saturação por bases (V), saturação por alumínio e; porcentagem de sódio trocável (PST) segundo métodos compilados por

Embrapa (1997).

A partir dos resultados obtidos em cada lote foram calculadas a média e o desvio padrão para cada parâmetro analisado. Para a interpretação dos parâmetros químicos, calculou-se a porcentagem de amostras dentro de cada classe de interpretação para cada variável analisada segundo a CFSEMG (1999): o pH do solo foi classificado em cinco classes (muito baixo, baixo, bom, alto e muito alto), os teores de P, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e valores de SB, CTC efetiva, CTC potencial e porcentagem de saturação por bases em (muito baixo, baixo, médio, bom e muito bom) e os teores de Al^{3+}, H + Al e a porcentagem de saturação por alumínio em (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). Posteriormente, buscando-se avaliar as relações existentes entre as características químicas do solo, foram obtidas matrizes de correlação linear para todas as variáveis analisadas, utilizando para isso, a média das amostras na profundidade 0 – 0,40 m. Além disso, as médias dessa profundidade foram também submetidas à análise de componentes principais (ACP) utilizando o programa Statistica (1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Componentes da acidez do solo: pH, Al^{3+}, H + Al e saturação por Al^{3+}

Os valores de pH e Al^{3+} para os solos sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI estão na tabela 1 e na tabela 2 os valores de H + Al e saturação por Al^{3+}.

Na tabela 3, são apresentadas as distribuições percentuais das amostras por faixa de profundidade. Os resultados obtidos para o pH mostram que todas as amostras de solo apresentam condição de acidez fraca (pH 6,1 – 6,9) em todas as profundidades estudadas, conforme o CFSEMG (1999). Para o H + Al foi verificado que, 66,67% das amostras apresentam acidez potencial baixa e 33,33% muito baixa, nas profundidades de

Tabela 1. Valores médios de pH em água e acidez trocável (Al^{3+}) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	-------- pH em H_2O (1:2,5) ------			------- Al^{3+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) ----------		
1	6,89 ± 0,07[1]	6,66 ± 0,05	6,51 ± 0,08	0,0	0,0	0,0
2	6,25 ± 0,50	6,28 ± 0,44	6,39 ± 0,16	0,0	0,0	0,0
3	6,62 ± 0,10	6,55 ± 0,11	6,51 ± 0,17	0,0	0,0	0,0
4	6,57 ± 0,18	6,53 ± 0,16	6,40 ± 0,18	0,0	0,0	0,0
5	6,58 ± 0,21	6,55 ± 0,24	6,48 ± 0,14	0,0	0,0	0,0
6	6,63 ± 0,08	6,57 ± 0,09	6,48 ± 0,18	0,0	0,0	0,0
7	6,48 ± 0,17	6,33 ± 0,20	6,45 ± 0,14	0,0	0,0	0,0
8	6,45 ± 0,12	6,39 ± 0,13	6,44 ± 0,28	0,0	0,0	0,0
9	6,55 ± 0,21	6,47 ± 0,19	6,29 ± 0,12	0,0	0,0	0,0
10	6,52 ± 0,04	6,50 ± 0,12	6,58 ± 0,13	0,0	0,0	0,0
11	6,46 ± 0,16	6,35 ± 0,16	6,27 ± 0,07	0,0	0,0	0,0
12	6,52 ± 0,21	6,43 ± 0,26	6,25 ± 0,23	0,0	0,0	0,0
13	6,44 ± 0,05	6,34 ± 0,04	6,27 ± 0,05	0,0	0,0	0,0
14	6,59 ± 0,02	6,63 ± 0,02	6,76 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
15	6,57 ± 0,07	6,58 ± 0,04	6,77 ± 0,05	0,0	0,0	0,0
16	6,59 ± 0,15	6,70 ± 0,09	6,78 ± 0,08	0,0	0,0	0,0
17	6,40 ± 0,07	6,40 ± 0,14	6,47 ± 0,18	0,0	0,0	0,0
18	6,36 ± 0,10	6,31 ± 0,16	6,22 ± 0,12	0,0	0,0	0,0
19	6,44 ± 0,11	6,25 ± 0,12	6,11 ± 0,10	0,0	0,0	0,0
20	6,24 ± 0,21	6,16 ± 0,21	6,10 ± 0,08	0,0	0,0	0,0
21	6,76 ± 0,06	6,73 ± 0,15	6,74 ± 0,10	0,0	0,0	0,0
22	6,59 ± 0,15	6,54 ± 0,13	6,55 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
23	6,45 ± 0,05	6,41 ± 0,02	6,41 ± 0,18	0,0	0,0	0,0
24	6,19 ± 0,14	6,13 ± 0,15	6,10 ± 0,12	0,0	0,0	0,0

[1]**Desvio padrão**

Tabela 2. Valores médios de acidez potencial (H + Al) e saturação por Al^{3+} de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	-------- H + Al ($cmol_c\ dm^{-3}$)------			--------- Saturação por Al^{3+} ----------		
1	0,72 ± 0,08[1]	0,73 ± 0,19	0,80 ± 0,04	0,0	0,0	0,0
2	1,33 ± 0,54	1,28 ± 0,45	1,13 ± 0,25	0,0	0,0	0,0
3	1,32 ± 0,41	1,08 ± 0,15	1,10 ± 0,12	0,0	0,0	0,0
4	1,05 ± 0,11	1,07 ± 0,15	0,92 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
5	0,87 ± 0,20	0,62 ± 0,08	0,77 ± 0,13	0,0	0,0	0,0
6	0,63 ± 0,12	0,65 ± 0,0	0,72 ± 0,05	0,0	0,0	0,0
7	1,13 ± 0,44	1,08 ± 0,17	0,82 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
8	1,08 ± 0,02	1,00 ± 0,32	1,02 ± 0,19	0,0	0,0	0,0
9	0,97 ± 0,20	1,27 ± 0,22	1,22 ± 0,35	0,0	0,0	0,0
10	2,20 ± 0,18	2,18 ± 0,23	1,93 ± 0,29	0,0	0,0	0,0
11	1,93 ± 0,49	1,87 ± 0,45	1,53 ± 0,31	0,0	0,0	0,0
12	0,77 ± 0,16	0,75 ± 0,11	1,72 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
13	1,28 ± 0,06	1,10 ± 0,12	1,05 ± 0,11	0,0	0,0	0,0
14	0,78 ± 0,02	0,60 ± 0,08	0,78 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
15	0,47 ± 0,02	0,37 ± 0,13	0,50 ± 0,12	0,0	0,0	0,0
16	0,40 ± 0,11	0,33 ± 0,06	0,38 ± 0,06	0,0	0,0	0,0
17	2,15 ± 0,14	2,00 ± 0,15	1,97 ± 0,05	0,0	0,0	0,0
18	2,15 ± 0,21	2,25 ± 0,25	2,30 ± 0,24	0,0	0,0	0,0
19	1,98 ± 0,30	2,38 ± 0,25	2,18 ± 0,14	0,0	0,0	0,0
20	2,42 ± 0,05	2,40 ± 0,20	2,38 ± 0,25	0,0	0,0	0,0
21	1,98 ± 0,33	2,20 ± 0,07	2,20 ± 0,11	0,0	0,0	0,0
22	1,13 ± 0,06	1,12 ± 0,13	1,00 ± 0,11	0,0	0,0	0,0
23	1,07 ± 0,06	1,07 ± 0,02	1,03 ± 0,05	0,0	0,0	0,0
24	1,40 ± 0,08	1,57 ± 0,22	1,38 ± 0,14	0,0	0,0	0,0

[1]**Desvio padrão**

Tabela 3 – Distribuição porcentual das faixas de pH, Al^{3+}, H + Al e saturação por Al^{3+} em amostras de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

	Profundidade (m)		
	0 – 0,10	**0,10 – 0,20**	**0,20 – 0,40**
-	---------- **pH (%)** ----------		
< 4,5	0,00	0,00	0,00
4,5 - 5,0	0,00	0,00	0,00
5,1 - 6,0	0,00	0,00	0,00
6,1 - 6,9	100,00	100,00	100,00
7,0	0,00	0,00	0,00
7,1 - 7,8	0,00	0,00	0,00
> 7,8	0,00	0,00	0,00
$cmol_c\ dm^{-3}$	---------- **Al^{3+} (%)** ----------		
≤ 0,20	100,00	100,00	100,00
0,21 - 0,50	0,00	0,00	0,00
0,51 - 1,00	0,00	0,00	0,00
1,01 - 2,00	0,00	0,00	0,00
> 2,00	0,00	0,00	0,00
$cmol_c\ dm^{-3}$	---------- **H + Al (%)** ----------		
≤ 1,00	33,33	33,33	41,67
1,01 - 2,50	66,67	66,67	58,33
2,51 - 5,00	0,00	0,00	0,00
5,01 - 9,00	0,00	0,00	0,00
> 9,00	0,00	0,00	0,00
%	----------**Saturação Al^{3+} (%)** ----------		
≤ 15,00	100,00	100,00	100,00
15,1 - 30,0	0,00	0,00	0,00
30,1 - 50,0	0,00	0,00	0,00
50,1 - 75,0	0,00	0,00	0,00
> 75,0	0,00	0,00	0,00

0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m. Para a profundidade de 0,20 - 0,40 m, esses valores foram, respectivamente de 58,33 e 41,67% (Tabela 3). Chaves et al. (1998), ao avaliarem as condições de fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa na Paraíba, verificaram valores de pH entre moderadamente ácido e alcalino que, segundo os autores, eram decorrentes, principalmente, dos altos teores das bases trocáveis e da ausência dos íons alumínio e hidrogênio nos solos.

Para o Al^{3+} e saturação por Al^{3+} foi observado que 100% das amostras apresentaram valores iguais a 0%, ou seja, porcentagem de saturação bem inferior ao valor limite (≥ 20%) para a recomendação de calcário, conforme Melo et al. (2005). Segundo os mesmos autores, pesquisas têm mostrado que o feijão-caupi possui determinada tolerância a solos meios ácidos, sendo o pH superior a 5,5 considerado como apto para a cultura. Assim, considerando-se os valores obtidos para os componentes da acidez do solo (pH, Al^{3+}, H + Al e saturação por Al^{3+}) pode-se afirmar que os lotes do Perímetro Irrigado Caldeirão mostram condições satisfatórias para manter um ambiente adequado ao crescimento radicular e assegurar a produtividade da cultura sem necessidade de aplicação de corretivos.

3.2. Teores de P, bases trocáveis (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Na^+) e soma de bases

Na tabela 4 são apresentados os valores de P e K^+, na 5 os de Ca^{2+} e Mg^{2+} e na 6 os de Na^+ e SB para os solos sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Para o P (Tabela 7) verificou-se que, independente da profundidade, as amostras apresentam níveis de disponibilidade bastante variáveis. A maioria das amostras apresenta níveis baixos nas profundidades 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m e muito baixo na de 0,20 – 0,40 m segundo a CFSEMG (1999). Para as profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m foram verificados também, nível de disponibilidade bom somente em 12,50% das amostras. No entanto, segundo Melo et al. (2005) teores de P entre 0 – 5,0 são

considerados baixo, 6 – 10 médio e > 10 mg dm^{-3} alto para a cultura do feijão-caupi. Com isso, a profundidade 0 – 0,10 m apresenta-se como a menos limitante no que diz respeito a disponibilidade do P para o desenvolvimento da cultura do feijão-caupi.

Tabela 4. Teores médios de P e K^+ de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	---------- P (mg dm^{-3})----------			---------- K^+ (mg dm^{-3})----------		
1	14,96±2,51[1]	8,95±4,12	3,03±0,67	76,9±1,8	53,4±4,9	35,2±5,5
2	13,16±4,71	10,31±3,60	5,40±0,65	63,9±14,7	66,5±6,4	54,7±6,4
3	17,13±4,61	16,93±4,42	7,11±2,02	23,5±0,0	22,2±6,6	14,3±3,7
4	38,82±6,74	41,20±2,56	21,43±1,76	37,8±1,8	33,9±4,9	26,1±3,7
5	40,23±10,27	30,58±5,24	12,89±2,54	75,6±35,0	57,3±20,3	40,4±12,9
6	5,27±1,08	2,74±0,75	1,26±0,27	58,7±0,0	43,0±3,2	35,2±0,0
7	12,55±1,44	6,95±0,59	3,14±0,52	58,7±5,5	44,3±6,6	31,3±3,2
8	6,47±2,40	5,41±3,09	3,91±1,83	61,3±10,3	48,2±12,9	32,6±6,2
9	20,0±2,63	17,12±2,32	9,90±2,56	91,2±1,8	75,6±3,7	53,4±3,7
10	28,49±1,96	23,10±3,69	20,32±3,75	83,4±16,1	56,0±9,2	54,7±6,4
11	10,31±0,37	8,54±1,25	4,50±0,52	84,7±9,8	74,3±3,2	54,7±9,6
12	13,75±1,92	9,35±2,19	3,66±1,02	46,9±5,5	37,8±6,6	20,9±1,8
13	21,84±0,87	19,92±1,61	14,06±6,91	46,9±9,6	35,2±8,4	31,3±13,9
14	16,26±2,05	8,90±0,95	8,06±1,55	33,9±4,9	24,8±3,7	20,9±1,8
15	18,24±6,06	10,62±1,70	8,91±1,08	39,1±8,4	24,8±1,8	20,9±1,8
16	15,74±3,95	11,53±3,01	7,74±1,81	30,0±1,8	20,9±1,8	13,0±1,8
17	16,56±2,80	13,63±0,41	10,53±3,57	61,3±20,5	40,4±13,3	27,4±6,4
18	5,09±0,67	3,83±1,14	2,50±0,14	143,4±4,9	119,9±11,2	96,4±16,4
19	24,75±5,31	21,54±7,16	12,97±2,04	92,5±16,1	69,1±4,9	67,8±3,7
20	18,85±3,56	13,76±2,72	7,88±2,19	100,4±32,8	86,0±27,8	76,9±18,2
21	16,29±5,51	11,52±4,06	4,70±0,13	37,8±9,2	46,9±25,3	23,5±6,4
22	39,61±3,06	32,65±2,63	26,17±10,47	76,9±19,2	63,9±30,2	45,6±17,6
23	21,31±4,14	21,90±8,71	10,93±2,45	44,3±16,4	39,1±13,9	33,9±8,0
24	25,19±9,06	17,91±8,38	8,87±3,57	78,2±30,5	54,7±17,8	48,2±11,2

[1]**Desvio padrão**

Tabela 5. Teores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	-------- Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)------			--------- Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)----------		
1	1,60±0,31[1]	1,40±0,23	1,40±0,29	0,77±0,21	0,72±0,28	0,52±0,12
2	1,70±0,16	1,76±0,53	1,67±0,09	0,92±0,10	0,79±0,16	0,82±0,30
3	1,14±0,30	1,05±0,11	1,11±0,04	0,55±0,11	0,33±0,06	0,29±0,04
4	1,30±0,19	1,15±0,14	1,05±0,25	0,33±0,15	0,53±0,15	0,27±0,08
5	1,22±0,34	1,25±0,40	1,32±0,38	0,47±0,17	0,48±0,16	0,56±0,28
6	1,73±0,12	1,77±0,10	1,65±0,10	0,78±0,28	0,55±0,25	0,45±0,07
7	1,47±0,17	1,15±0,21	1,03±0,05	0,75±0,28	0,87±0,12	0,53±0,08
8	3,43±0,22	2,18±0,94	2,10±0,99	1,10±0,16	0,98±0,59	0,65±0,32
9	1,53±0,18	1,57±0,17	1,46±0,19	0,87±0,19	0,70±0,18	0,53±0,16
10	1,52±0,26	1,18±0,20	1,12±0,02	0,48±0,09	0,55±0,14	0,62±0,22
11	1,78±0,04	1,73±0,51	1,73±0,25	0,89±0,30	0,83±0,17	0,97±0,33
12	1,01±0,16	1,16±0,23	0,98±0,31	0,49±0,16	0,26±0,09	0,33±0,05
13	1,45±0,04	1,41±0,36	0,97±0,20	0,33±0,12	0,43±0,21	0,24±0,15
14	1,34±0,24	1,15±0,30	1,05±0,15	0,54±0,22	0,40±0,08	0,26±0,04
15	1,08±0,27	1,24±0,17	1,15±0,26	0,42±0,13	0,31±0,04	0,29±0,07
16	1,01±0,22	1,16±0,12	1,15±0,22	0,36±0,07	0,29±0,03	0,29±0,05
17	1,01±0,12	0,99±0,07	0,84±0,24	0,25±0,03	0,24±0,03	0,23±0,10
18	1,85±0,12	1,75±0,27	1,97±0,22	1,03±0,20	0,98±0,36	0,83±0,35
19	1,47±0,05	1,36±0,28	1,27±0,39	0,61±0,16	0,47±0,13	0,42±0,12
20	1,17±0,28	1,10±0,34	0,98±0,16	0,38±0,06	0,30±0,08	0,37±0,20
21	1,32±0,25	1,35±0,37	1,02±0,23	0,52±0,20	0,34±0,09	0,28±0,09
22	1,16±0,25	1,28±0,26	1,03±0,14	0,50±0,21	0,32±0,06	0,32±0,06
23	1,24±0,21	1,17±0,02	1,02±0,34	0,59±0,18	0,35±0,19	0,33±0,15
24	1,28±0,06	1,32±0,34	1,27±0,14	0,82±0,12	0,54±0,08	0,68±0,12

[1]**Desvio padrão**

Tabela 6. Teores médios de Na^+ e soma de bases (SB) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	-------- Na^+ ($cmol_c\ dm^{-3}$)------			--------- SB ($cmol_c\ dm^{-3}$)----------		
1	0,67±0,02[1]	0,63±0,00	0,62±0,01	3,23±0,46	2,88±0,48	2,63±0,35
2	0,40±0,18	0,39±0,19	0,24±0,03	3,18±0,32	3,11±0,54	2,87±0,19
3	0,20±0,01	0,20±0,01	0,21±0,02	1,94±0,18	1,64±0,10	1,65±0,08
4	0,21±0,00	0,21±0,01	0,20±0,00	1,94±0,20	1,97±0,12	1,58±0,23
5	0,72±0,03	0,70±0,02	0,70±0,02	2,60±0,62	2,58±0,54	2,68±0,70
6	0,67±0,00	0,65±0,01	0,64±0,01	3,34±0,30	3,07±0,34	2,83±0,17
7	0,68±0,00	0,66±0,00	0,65±0,01	3,04±0,22	2,79±0,31	2,29±0,13
8	0,71±0,01	0,70±0,01	0,68±0,02	5,39±0,41	3,99±1,53	3,52±1,29
9	0,72±0,00	0,70±0,01	0,68±0,01	3,35±0,10	3,16±0,06	2,80±0,32
10	0,61±0,18	0,45±0,18	0,57±0,18	2,82±0,41	2,32±0,08	2,44±0,17
11	0,73±0,01	0,72±0,01	0,70±0,00	3,61±0,29	3,47±0,35	3,54±0,10
12	0,43±0,21	0,42±0,20	0,40±0,19	2,05±0,27	1,93±0,29	1,77±0,39
13	0,25±0,02	0,24±0,03	0,24±0,03	2,16±0,11	2,17±0,49	1,53±0,26
14	0,24±0,01	0,22±0,01	0,21±0,01	2,21±0,27	1,84±0,33	1,58±0,19
15	0,29±0,01	0,31±0,04	0,28±0,02	1,89±0,20	1,93±0,20	1,77±0,32
16	0,29±0,03	0,29±0,04	0,27±0,05	1,73±0,14	1,80±0,10	1,74±0,31
17	0,30±0,02	0,29±0,01	0,25±0,00	1,72±0,21	1,62±0,05	1,39±0,16
18	0,37±0,01	0,33±0,00	0,31±0,00	3,62±0,31	3,37±0,59	3,36±0,46
19	0,32±0,02	0,28±0,00	0,28±0,00	2,64±0,18	2,29±0,18	2,13±0,45
20	0,31±0,05	0,29±0,05	0,28±0,05	2,12±0,37	1,91±0,51	1,82±0,40
21	0,23±0,01	0,22±0,03	0,19±0,01	2,16±0,33	2,02±0,50	1,55±0,26
22	0,25±0,01	0,23±0,02	0,21±0,01	2,11±0,49	2,00±0,42	1,68±0,11
23	0,24±0,01	0,23±0,00	0,23±0,02	2,18±0,27	1,85±0,22	1,67±0,48
24	0,30±0,02	0,28±0,03	0,25±0,01	2,60±0,23	2,28±0,29	2,33±0,25

[1]**Desvio padrão**

Maior teor de P na camada superficial do solo decorre, provavelmente, da incorporação dos fertilizantes na profundidade de semeadura, criando com isso, um gradiente de concentração em profundidade. Segundo Ruiz et al. (1988) e Klepker & Anghinoni (1995) quando apenas uma porção do solo é suprida suficientemente com P, ocorre, no geral, uma maior densidade de raízes na fração adubada e; embora ocorra redistribuição do nutriente na planta, ela pode não ser suficiente às partes que não têm acesso ao nutriente, em especial quando o conteúdo de água do solo é baixo. Maiores rendimentos de matéria seca e utilização de P têm sido obtidos quando todas as raízes são supridas com P (Novais et al., 1985; Klepker & Anghinoni 1996; Barreto & Fernandes, 2002), exceto quando os teores no solo estão acima do nível de suficiência (Klepker & Anghinoni, 1995).

Para o K^+ (Tabela 7) verificou-se também que, independente da profundidade, os níveis de disponibilidade foram bastantes variáveis. Na profundidade de 0 – 0,10 m, a disponibilidade variou desde muito bom (4,17%) até baixo (25,0%), com faixas intermediárias de bom (37,50%) e médio (33,33%). Nas profundidades de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m verificou-se a redução na porcentagem de amostras com valores de disponibilidade bom (16,67 e 8,33%, respectivamente) e um aumento na porcentagem de amostras com disponibilidade baixa (37,50 e 54,17%, respectivamente). Para a camada de 0,20 – 0,40 m, foi verificado, a presença de 8,33% das amostras com nível muito baixo segundo a CFSEMG (1999).

Segundo Melo et al. (2005), a recomendação para o K^+ no feijão-caupi considera as faixas de concentrações entre 0 – 25,0 mg dm^{-3} (baixa), 25,0 – 50,0 mg dm^{-3} (média) e (> 50 mg dm^{-3}) alta. Assim, considerando-se o limite superior de 50 mg dm^{-3} de K^+, para a faixa média, pode-se afirmar que, no mínimo, 41,67% e no máximo 75,0% das amostras de solo na profundidade 0,0 – 0,10 m; 16,67% no mínimo e 62,50% no

Tabela 7 – Distribuição porcentual das faixas de P, bases trocáveis (K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}) e soma de bases (SB) em amostras de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

	Profundidade (m)		
	0 – 0,10	**0,10 – 0,20**	**0,20 – 0,40**
mg dm^{-3}	---------- **P (%)** ----------		
≤ 10,0	12,50	33,33	66,67
10,1 - 20,0	54,17	41,67	20,83
20,1-30,0	20,83	12,50	12,50
30,1 - 45,0	12,50	12,50	0,00
> 45,0	0,00	0,00	0,00
mg dm^{-3}	---------- **K^+ (%)** ----------		
≤ 15,00	0,00	0,00	8,33
16 - 40	25,00	37,50	54,17
41 - 70,0	33,33	45,83	29,17
71 - 120	37,50	16,67	8,33
> 120	4,17	0,00	0,00
$cmol_c$ dm^{-3}	---------- **Ca^{2+} (%)** ----------		
≤ 0,40	0,00	0,00	0,00
0,41 - 1,20	29,17	41,67	58,33
1,21 - 2,40	66,67	58,33	41,67
2,41 - 4,00	4,17	0,00	0,00
> 4,00	0,00	0,00	0,00
$cmol_c$ dm^{-3}	---------- **Mg^{2+} (%)** ----------		
≤ 0,15	0,00	0,00	0,00
0,16 - 0,45	25,00	45,83	58,33
0,46 - 0,90	62,50	45,83	37,50
0,91 - 1,50	12,50	8,33	4,17
> 1,50	0,00	0,00	0,00
$cmol_c$ dm^{-3}	---------- **SB (%)** ----------		
≤ 0,60	0,00	0,00	0,00
0,61 - 1,80	8,33	12,50	45,83
1,81 - 3,60	79,17	83,33	54,17
3,61 - 6,00	12,50	4,17	0,00
> 6,00	0,00	0,00	0,00

máximo da profundidade 0,10 – 0,20 m e; 8,33% no mínimo e 37,50% no máximo da profundidade 0,20 – 0,40 m apresentam valores considerados alto para a recomendação de adubos potássicos. Elevada porcentagem de amostras de solos com alto teor de K^+ pode ser reflexo do histórico de manejo da adubação potássica, sem muito critério, para a recomendação adequada do nutriente no solo. Martinazzo (2006) também verificou elevada porcentagem de amostras de solos com teores de K^+ acima do nível de suficiência, reflexo segundo o autor do histórico de manejo da adubação potássica nas áreas estudadas.

Para os teores de Ca^{2+} (Tabela 7) foi verificado na profundidade 0 – 0,10 m que somente 4,17% das amostras apresentam valores considerados bom, enquanto o restante, valores médio (66,67%) e baixo (29,17%) segundo CFSEMG (1999). Para as profundidades de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m menor disponibilidade do elemento foi verificada, pois valores foram encontrados somente nas faixas de médio (58,33 e 41,67%) e baixo (41,67 e 58,33%), respectivamente. Já o Mg^{2+}, apresentou o mesmo comportamento que o Ca^{2+}, exceto para o nível considerado bom que ocorreu em todas as profundidades estudadas.

Para a SB (Tabela 7), que compreende os valores de K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Na^+, verificou-se que a maior porcentagem de nutrientes estão nas profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, uma vez que 12,50 e 4,17% das amostras apresentam níveis considerados bom; 79,17 e 83,37% médios e somente 8,33 e 12,50%, níveis considerados baixo segundo CFSEMG (1999), para as profundidades de 0 – 10 e 0,10 – 0,20 m, respectivamente.

Os teores de Na^+ (Tabela 6) não foram classificados quanto às faixas de disponibilidade, pois não há na CFSEMG (1999) e nem na UFC (1989) critérios para a classificação do elemento. No entanto, no presente estudo, os valores variaram desde

0,20 a 0,73 $cmol_c$ dm^{-3} na profundidade de 0 – 0,10 m; 0,20 a 0,72 $cmol_c$ dm^{-3} na de 0,10 – 0,20 m e; 0,19 a 0,70 $cmol_c$ dm^{-3} na de 0,20 – 0,40 m.

3.3. Capacidade de troca catiônica efetiva (t), potencial (T), porcentagem de saturação por bases (V) e de sódio trocável (PST)

Na Tabela 8 são apresentados os valores de CTC efetiva (t) e potencial (T) e na 9 os de porcentagem de saturação por bases (V) e de sódio trocável (PST) para os solos sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

A capacidade de retenção de nutrientes pelas amostras de solos (Tabela 10) variou de baixa (0,81 a 2,30 e; 1,61 – 4,30 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente para t e T) na maioria das amostras, a média (2,31 a 4,60 e; 4,31 – 8,60 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente para t e T), independentemente da profundidade do solo segundo a CFSEMG (1999). Esse resultado era um tanto já esperado, visto que o solo em estudo é o Neossolo Quartzarênico que segundo Embrapa (2006) se caracteriza por apresentar baixa CTC. Baixa retenção de nutrientes pelos Neossolos decorre do fato de ser a matéria orgânica o único componente capaz de fornecer cargas elétricas para a retenção de nutrientes e, com isso, em sistemas de manejo de solos pouco conservacionistas como o do presente estudo, a mesma tende a decrescer em poucos anos de cultivo.

Silva et al. (1994) ao avaliar as perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região do cerrado baiano verificaram que a perda de matéria orgânica ocorreu de forma sistemática ao longo dos sucessivos cultivos de soja, com sérias implicações na CTC dos solos. Segundo os autores, a redução da CTC em pH 7,0, em cinco anos, foi maior nas Areias Quartzosas e Latossolo Vermelho-Amarelo (15 – 30% de argila), respectivamente, 2,38 e 2,09 $cmol_c$ kg^{-1}, do que nos Latossolos com teor de argila > 30%, com perda de 1,52 $cmol_c$ kg^{-1}.

Tabela 8. Valores médios de CTC efetiva (t) e potencial (T) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	-------- t ($cmol_c\ dm^{-3}$)------			--------- T ($cmol_c\ dm^{-3}$)----------		
1	3,23±0,46[1]	2,88±0,48	2,63±0,35	3,95±0,51	3,62±0,54	3,43±0,34
2	3,18±0,32	3,11±0,54	2,87±0,19	4,52±0,32	4,39±0,21	4,00±0,43
3	1,94±0,18	1,64±0,10	1,65±0,08	3,26±0,35	2,72±0,08	2,75±0,18
4	1,94±0,20	1,97±0,12	1,58±0,23	2,99±0,21	3,04±0,22	2,50±0,26
5	2,60±0,62	2,58±0,54	2,68±0,70	3,46±0,83	3,20±0,46	3,45±0,66
6	3,34±0,30	3,07±0,34	2,83±0,17	3,97±0,20	3,72±0,34	3,55±0,17
7	3,04±0,22	2,79±0,31	2,29±0,13	4,18±0,24	3,87±0,34	3,11±0,19
8	5,39±0,41	3,99±1,53	3,52±1,29	6,48±0,40	4,99±1,32	4,53±1,11
9	3,35±0,10	3,16±0,06	2,80±0,32	4,32±0,30	4,43±0,17	4,02±0,04
10	2,82±0,41	2,32±0,08	2,44±0,17	5,02±0,28	4,51±0,23	4,37±0,19
11	3,61±0,29	3,47±0,35	3,54±0,10	5,55±0,48	5,34±0,36	5,08±0,22
12	2,05±0,27	1,93±0,29	1,77±0,39	2,82±0,40	2,68±0,28	2,49±0,33
13	2,16±0,11	2,17±0,49	1,53±0,26	3,44±0,16	3,27±0,56	2,58±0,32
14	2,21±0,27	1,84±0,33	1,58±0,19	3,00±0,26	2,44±0,30	2,36±0,17
15	1,89±0,20	1,93±0,20	1,77±0,32	2,35±0,23	2,29±0,16	2,27±0,26
16	1,73±0,14	1,80±0,10	1,74±0,31	2,13±0,21	2,13±0,16	2,12±0,34
17	1,72±0,21	1,62±0,06	1,39±0,16	3,87±0,33	3,62±0,09	3,36±0,14
18	3,62±0,31	3,37±0,59	3,36±0,46	5,77±0,52	5,62±0,84	5,66±0,70
19	2,64±0,18	2,29±0,18	2,13±0,45	4,62±0,17	4,67±0,13	4,32±0,38
20	2,12±0,37	1,91±0,51	1,82±0,40	4,53±0,41	4,31±0,69	4,21±0,60
21	2,16±0,33	2,02±0,50	1,55±0,26	4,14±0,64	4,22±0,54	3,75±0,37
22	2,11±0,49	2,00±0,42	1,68±0,11	3,25±0,44	3,11±0,42	2,68±0,01
23	2,18±0,27	1,85±0,22	1,67±0,48	3,24±0,21	2,92±0,21	2,70±0,51
24	2,60±0,23	2,28±0,29	2,33±0,25	4,00±0,26	3,85±0,51	3,71±0,35

[1]**Desvio padrão**

Relação direta entre aumento nos teores de matéria orgânica e CTC do solo tem sido verificada (Bayer & Mielniczuk 1997; Canellas et al., 2003; Falleiro et al., 2003), indicando que parte da variação da CTC é devida à matéria orgânica. Segundo (Raij, 1981) a contribuição da matéria orgânica para a CTC de solos sob condições tropicais é estimada entre 56 e 82% da CTC total do solo.

Com isso, no manejo de solos com baixa CTC deve-se primar pelo uso de práticas de cultivo que eleve os níveis de matéria orgânica no solo visando aumentar a CTC do solo e consequentemente, a retenção de nutrientes. O efeito de técnicas de cultivo que permitem proteção da superfície do solo, pelo retorno dos resíduos das culturas e das plantas invasoras, como ocorre no sistema plantio direto, tem-se mostrado positivo em termos de melhoria de propriedades químicas do solo (Reicosky et al. 1995; Silva & Ribeiro 1995; Iyamuremye & Dick 1996; Santos & Tomm, 1996; Bayer & Mielniczuk, 1997) devido, principalmente, à melhoria do nível de matéria orgânica (Aase & Pikul, 1995; Santos & Tomm, 1996; Bayer & Mielniczuk, 1997).

Para o índice de saturação por bases (V) (Tabela 9), foi observado que, independentemente da profundidade, todas as amostras de solo apresentam valores, no mínimo, considerados médios (40,1 – 60,0%), sendo a maioria classificada com nível bom (60,1 – 80,0%) segundo CFSEMG (1999). Isso mostra que, mesmo se descontando a contribuição da porcentagem de sódio trocável (PST) (Tabela 9) da porcentagem de saturação por bases (V) (Tabela 9), praticamente todas as amostras de solo apresentam valores superiores a 50%, índice recomendado para o feijão-caupi, segundo Melo et al. (2005).

Quanto a PST, esta se mostrou inferior a 20% em 94,4% das amostras de solos avaliadas. Chaves et al. (1998) ao avaliarem a PST em amostras de Vertissolos verificaram que a presença de sódio nas amostras superficiais do solo não era

prejudicial, uma vez que a PST encontrava-se abaixo de 20% em 100% das amostras de solo avaliadas.

Tabela 9. Valores médios de porcentagem de saturação por bases (V) e sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,10	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**	**0 - 0,10**	**0,10 - 0,20**	**0,20 - 0,40**
	---------- V (%)----------			---------- PST (%)----------		
1	81,73±1,91[1]	79,68±4,33	76,41±2,73	17,17±2,39	17,83±2,92	18,23±1,53
2	71,04±9,85	70,57±11,07	72,02±3,38	8,95±4,05	8,91±4,60	6,13±0,80
3	60,29±8,40	60,33±4,74	60,07±2,12	6,14±0,57	7,37±0,17	7,70±0,98
4	64,80±3,91	65,03±3,34	63,01±3,09	7,12±0,54	6,85±0,05	7,89±0,68
5	74,94±0,51	80,01±4,92	76,92±5,90	21,66±3,80	22,26±2,53	20,76±3,08
6	83,90±3,85	82,38±1,73	79,79±1,45	16,95±0,95	17,51±1,58	18,17±0,75
7	73,33±8,64	71,97±4,27	73,76±0,51	16,22±0,88	17,10±1,38	20,86±1,13
8	83,21±1,13	76,92±11,92	75,34±9,08	11,02±0,75	15,16±4,47	15,89±3,42
9	77,82±2,99	71,56±3,98	69,80±8,52	16,73±1,19	15,91±0,71	16,97±0,31
10	55,92±5,41	51,67±2,85	55,95±5,19	11,96±3,35	10,02±4,28	13,17±4,64
11	65,49±6,74	65,23±7,08	70,00±4,76	13,25±1,27	13,49±1,08	13,89±0,65
12	72,98±3,42	71,78±4,53,	70,11±6,33	14,62±4,84	15,41±6,70	15,41±5,51
13	62,70±0,88	65,74±4,28	58,99±4,30	7,42±0,85	7,58±0,92	9,20±1,19
14	73,63±2,93	74,88±4,93	66,58±3,91	8,27±1,21	9,33±1,54	8,82±0,93
15	80,09±0,95	83,99±5,51	77,49±6,18	12,28±0,85	13,89±2,63	12,70±2,55
16	81,43±4,14	84,47±1,90	81,80±2,68	13,78±2,59	13,96±3,03	13,02±1,92
17	44,32±2,07	44,85±2,73,	41,29±3,15	7,68±0,18	7,90±0,36	7,55±0,26
18	62,73±0,58	59,77±1,61,	59,28±1,27	6,50±0,56	6,09±0,92	5,61±0,63
19	57,22±5,20	49,08±4,46	48,91±6,39	6,88±0,44	6,03±0,15	6,45±0,62
20	46,31±4,00	43,62±4,75	42,95±4,10	6,78±0,44	6,68±0,12	6,55±0,48
21	52,15±1,48	47,09±6,57	41,11±2,75	5,60±0,79	5,27±0,76	5,16±0,20
22	64,13±7,07	63,61±5,50	62,67±4,04	7,80±1,00	7,58±0,65	7,91±0,32
23	66,88±3,95	63,23±2,97	60,33±7,58	7,33±0,10	8,05±0,45	8,83±1,82
24	64,93±2,34	59,38±0,63	62,68±2,50	7,59±0,78	7,29±0,79	6,88±0,36

[1]**Desvio padrão**

Tabela 10 – Distribuição porcentual das faixas de CTC efetiva (t) e potencial (T), porcentagem de saturação por bases (V) e sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi no Perímetro Irrigado Caldeirão, PI.

	Profundidade (m)		
	0 – 0,10	**0,10 – 0,20**	**0,20 – 0,40**
$cmol_c\ dm^{-3}$	---------- t (%) ----------		
≤ 0,80	0,00	0,00	0,00
0,81 - 2,30	50,00	58,33	58,33
2,31 - 4,60	45,83	41,67	41,67
4,61 - 8,00	4,17	0,00	0,00
> 8,00	0,00	0,00	0,00
$cmol_c\ dm^{-3}$	---------- T (%) ----------		
≤ 1,60	0,00	0,00	0,00
1,61 - 4,30	66,67	66,67	79,17
4,31 - 8,60	33,33	33,33	20,83
8,61 - 15,00	0,00	0,00	0,00
> 15,00	0,00	0,00	0,00
%	---------- V (%) ----------		
≤ 20,00	0,00	0,00	0,00
20,1 - 40,0	0,00	0,00	0,00
40,1 - 60,0	20,83	29,17	29,17
60,1 - 80,0	58,33	54,17	66,67
> 80,0	20,83	16,67	4,17

Para a análise conjunta dos atributos das amostras de solos coletadas na profundidade de 0 - 0,40 m realizou-se a análise de componentes principais, sendo que os dois componentes explicaram 78% da variação total (48,7%, no primeiro eixo horizontal e 29,3%, para o segundo vertical) (Figura 1). Os atributos que apresentaram maior correlação com o primeiro eixo, acima de 0,70; foram: Na^+ com índice de correlação de -0,76; Ca^{2+} (-0,89), Mg^{2+} (-0,94), SB (-0,99), t (-0,99). Para o segundo eixo de ordenação somente a variável T (-0,99) apresentou a maior contribuição. Tais correlações possibilitaram detectar algumas diferenças entre as diferentes glebas.

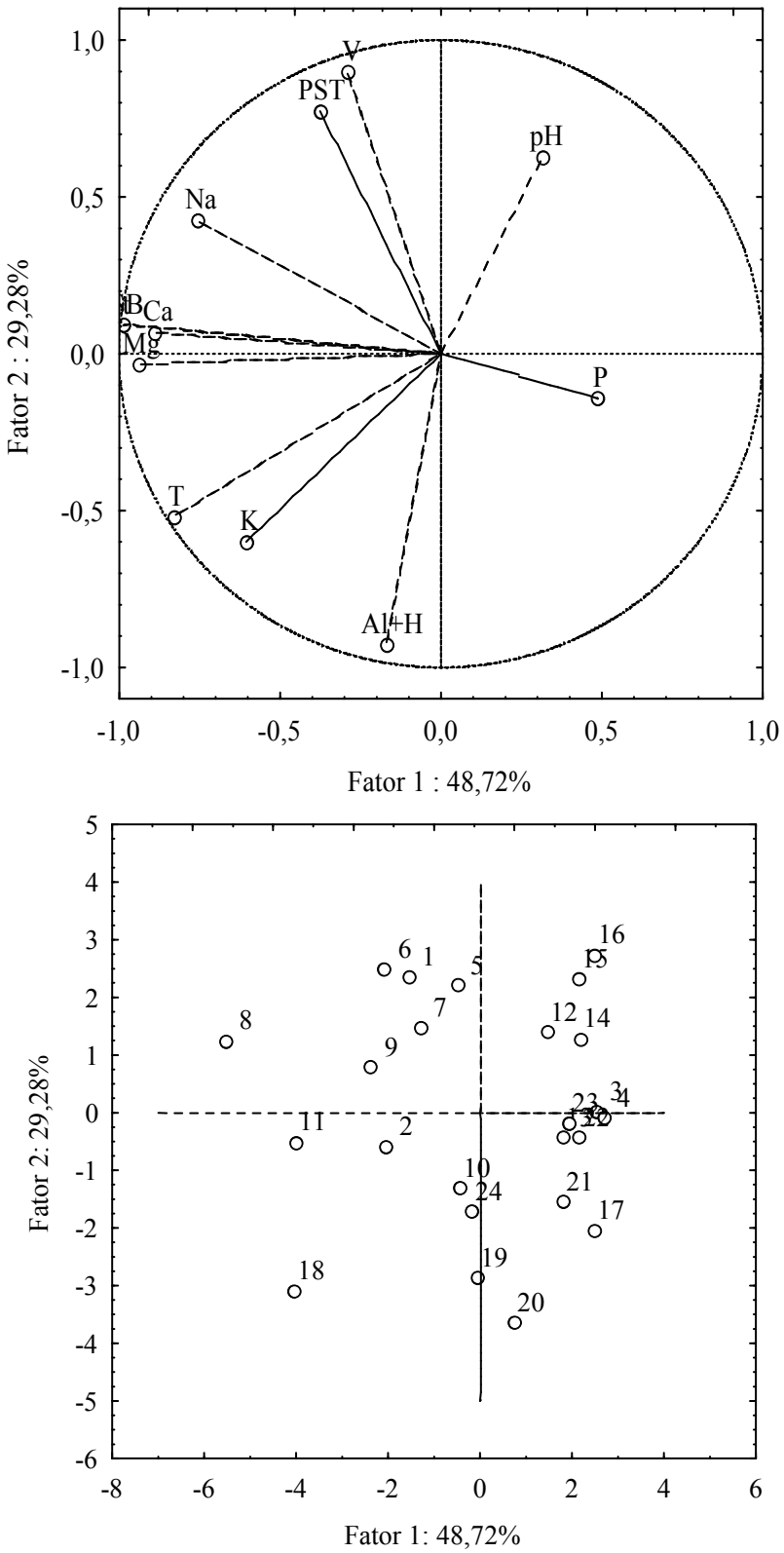

Figura 1 - (A) Diagrama de ordenação das variáveis: pH; teores de P, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+; Al^{3+}; H+Al; soma de bases (SB); capacidade de toca catiônica efetiva (t) e potencial (T); saturação por alumínio (m) e bases (V) e; porcentagem de sódio trocável (PST) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de feijão-caupi em lotes (1 – 24) (B) do Perímetro Irrigado Caldeirão.

De maneira geral, houve o agrupamento dos atributos químicos avaliados nas amostras de solo representados pelos pontos do diagrama, em relação ao primeiro e ao segundo eixos (Figura 1 A), sendo que os solos coletados nas glebas 3, 4, 13, 19, 22, 23 e 24 não apresentaram correlação com os atributos de maior relevância.

Os solos coletados nas glebas 1, 5, 6, 7, 8 e 9 se agruparam no quadrante superior esquerdo. O Na^+ com índice de correlação de -0,76; Ca^{2+} (-0,89), Mg^{2+} (-0,94), SB (-0,99), t (-0,99) (correlacionados com o primeiro eixo) foram os atributos de maior influência para estes solos. A PST apresentou uma correlação positiva e significativa com o Na^+ e com o V% (0,84 e 0,73, respectivamente) (Tabela 11), o que confirma a tendência apresentada na figura 1.

Tabela 11 - Matriz de correlação linear das características químicas na profundidade 0,0 – 0,40 m do Neossolo Quartzarênico do Perímetro irrigado do Caldeirão, PI.

Atributo	pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	H+Al	SB	t	T	V
P	0,03										
K^+	-0,58*	-0,07									
Ca^{2+}	-0,17	-0,45*	0,38								
Mg	-0,34	-0,44*	0,57*	0,83*							
Na	0,03	-0,30	0,26	0,55*	0,62*						
H+Al	-0,49*	0,00	0,64*	0,04	0,14	-0,16					
SB	-0,23	-0,44*	0,52*	0,93*	0,93*	0,76*	0,07				
t	-0,23	-0,44*	0,52*	0,93*	0,93*	0,76*	0,07	1,00*			
T	-0,48*	-0,32	0,78*	0,71*	0,77*	0,45*	0,68*	0,78*	0,78*		
V	0,37	-0,24	-0,30	0,34	0,29	0,49*	-0,88*	0,37	0,37	-0,28	
PST	0,30	-0,18	-0,11	0,20	0,25	0,84*	-0,57*	0,40	0,40	-0,07	0,73*

Em todas estas glebas o valor de PST foi superior a 15, em todas as camadas, fato que exige maiores cuidados com manejo das mesmas uma vez que altos teores de sódio trocável são prejudicais para a cultura (Gomes et al., 2000). Estudos mostram que elevadas concentrações de sais no solo prejudicam o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando também em desequilíbrio nutricional e acúmulo excessivo de Na^+ e outros íons nos diferentes órgãos das plantas, sobretudo na parte aérea (Teixeira et al., 1998). O desbalanço nutricional, provocado pelo excesso de sais (Na e Cl) na solução

do solo leva a um distúrbio na absorção de nutrientes, alterando as concentrações dos elementos N, P, Ca, K, Mg e Na na planta, que reflete na alteração de funcionamento dos processos metabólicos vegetais (Viana et al., 2001; Javed et al., 2002). Com isso, para solos com maior PST recomenda-se a adoção de técnicas de manejo diferentes daquelas empregadas para os solos não comprometidos por sais (Leite, 2005).

As amostras de solo coletadas nas glebas 2, 10, 11 e 18 gruparam-se no quadrante inferior esquerdo e foram mais correlacionadas com a T. Mesmo situando-se no mesmo quadrante apresentaram um comportamento bem heterogêneo entre si. Já as amostras das glebas 12, 14, 15, 16, 17, 20 e 21 distribuídas no quadrante direito apresentaram baixa correlação com os atributos de maior relevância.

4. CONCLUSÃO

1. As amostras de solos do Perímetro Irrigado Caldeirão não apresentam problemas de acidez tanto em superfície quanto em subsuperficie para o desenvolvimento da cultura do feijão-caupi.
2. A maioria das amostras de solo apresenta teores de P baixo e muito baixo, principalmente com o aumento da profundidade, enquanto a porcentagem de saturação por bases nível bom.
3. Os teores de Na^+ e a porcentagem de sódio trocável em algumas amostras de solo ocorrem em níveis significativos, fato que exige cuidados especiais no manejo dessas áreas.
4. Dentre os atributos químicos do solo, a análise de componentes principais revelou que o Na^+; Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, t e T foram os mais determinantes em elucidar as diferenças entre os solos estudados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J.K.; PIKUL Jr., J.L. Crop and soil response to long-term tillage practices in the norther great plains. **Agronomy Journal**, v.87, p.652-656, 1995.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 151-156, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; RESENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CAVALCANTE, L.F.; LIMA, R.L.S.; SANTIAGO, R.B.; CAVALCANTE, I.H.L.; ARAÚJO, F.A.R. Melhoria química e física de um solos salino sódico tratado com matéria orgânica e cultivado com leguminosas forrageira. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, n.6, n.1, p. 27 – 35, 2002.

CHAVES, L.H.G.; MENINO, I.B.; ARAÚJO, I.A.; CHAVES, I.B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.2, n.3, p.262-267, 1998.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** (5ª aproximação). RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. (Eds.). Viçosa: CFSEMG, 1999, 359p.

CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J. Atributos físico-químicos e limitações dos solos de áreas produtoras de Feijão-caupi no nordeste do Estado do Pará. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. **Resumos....**Recife: SNCS, 2005. 1 CD-ROM.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2006. 306 p. il.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FREIRE FILHO, F.R.; BENVINDO, R.N.; ALMEIDA, A.L.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PORTELA, G.L.F. **Caracterização de pólos de produção da cultura de feijão-caupi no estado o Piauí**. Embrapa Meio Norte, 2007, 28p. (Documento, 100)

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) – 1997 - 2006.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advance in Agronomy**, v.56, p.139-185, 1996.

JACOMINE, P.K.I.(Coord.).Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Piauí: Rio de Janeiro:EMBRAPA SNLCS/SUDENE, 1996.v.1.

JAVED, I.U.L.H. et al. Ion distribution response of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) to NaCl salinity. **International Journal of Agriculture and Biology,** Faisalabad, v.4, n.1, p.46-48, 2002.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 403-408, 1995.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, p. 79-86, 1996.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado.** 2006. 82 f. il**.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MEDEIROS, J.F. Salinização em áreas irrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M.V. et al. **Fertirrigação:** flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, cap. 2, p.201-240.

MELO, F.B.; CARDOSO, M.J.; SALVIANO, A.A.C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi:** avanços tecnológicos. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Cap. 6. p. 229-242.

NOVAIS, R.F.et al. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, p. 749- 754, 1985.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van. Ed. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa e fosfato, 1981. p.17-31.

REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE., G.W.; DOUGLAS Jr., C.L. & RASMUNSSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal Soil Water Conservation**, v. 50, p.253-261, 1995.

RUIZ, H.A.; BERNARDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; PEREIRA, P.A. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.43-48, 1988.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de

rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.407-414, 1996.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrado do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.389-394, 1995.

STATISTICA. Statistic Analysis. Versão 5.0. 1995.

TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J. H.; MARINHO, J. T. S.; CARVALHO, J. G.; ANDRADE, M. J. B. Efeito da salinidade sobre a produção de matéria seca na cultivar de feijão pérola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998, 412p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. 1989. Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará. CE. 248p.

VIANA, S.B.A.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de *Engenharia* Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.5, n.1, p.60-66, 2001.

CAPÍTULO 3

Produtividade do feijão-caupi inoculado com estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí

Resumo - Objetivando selecionar estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas (BDS) para serem utilizadas como inoculante para a cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], no Piauí foi instalado um ensaio de campo na Estação Experimental da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Teresina, PI. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizado com oito tratamentos (formas de adição de nitrogênio). Os tratamentos foram constituídos por três inoculações de estirpes de BDS recomendadas para a cultura do feijão-caupi (BR 3301, BR 3302 e BR 3299) duas estirpes a serem testadas (BR 3267 e BR 3262), duas testemunhas com adição de adubação nitrogenada (50 kg N ha^{-1} no plantio e; 80 kg N ha^{-1}, sendo 40 kg no plantio e de 40 kg em cobertura aos 30 dias após o plantio) e uma testemunha sem adubação nitrogenada e sem inoculação. A inoculação das sementes no campo com as estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas resultou em rendimentos de grãos equivalentes e, ou superior as testemunhas adubadas com nitrogênio mineral. Dentre as estirpes recomendadas pela RELARE (Rede de laboratórios para recomendação, padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbianos de interesse agrícola), a BR 3301 apresentou a maior produção de grãos das estirpes testadas, BR 3267 e BR 3262 apresentaram produção de grãos igual aos tratamentos nitrogenados, portanto, apresentando ambas, alto potencial para serem recomendadas como inoculantes para o feijão-caupi na região Meio Norte do Brasil

Termos para indexação: *Bradyrhizobium*, fixação de N_2, *Vigna unguiculata.*

Cow-pea bean productivity inoculated with diazotrophic symbiotic bacteria breeds in Piauí.

ABSTRACT

Aiming to select diazotrophic symbiotic bacteria breeds (DSB) to be used as inoculant for the cultivation of the Cow-pea bean [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], in Piauí an essay Field was installed into the EMBRAPA Experimental Station Middle North, located in the municipality of Teresina, PI. The delineation used was randomly blocks with eight treatments (forma of nitrogen addition). The treatments were constituted of three inoculation of strains DSB recommended for the cultivation of the Cow-pea bean (BR 3301, BR 3302 and BR 3299) two breeds were tested (BR 3267 and BR 3262), two witness with the addition of nitrogen adubation (50 kg N ha^{-1} during the plantation and; 80 kg N ha^{-1}, being 40 kg during the plantation and 40 kg at covering layer 30 days after the plantation) and one witness without nitrogen adubation and without inoculation. The inoculation of the seeds with diazotrophic symbiotic bacteria strains resulted in the improvement of the equivalent and, or superior to the witness adubated with mineral nitrogen. Among the strains recommended by RELARE (Laboratories Network for recommendation, paternization and diffusion of Microbial Inoculants Technologies of agricultural interest), the BR 3301 has presented the higher grain production of the breeds tested, BR 3267 and BR 3262 presented grain production similar to the nitrogen treatments, therefore presenting both, high potential for being recommended as inoculant for the Cow-pea bean in the Middle North region of Brazil.

Index terms: *Bradyrhizobium*, fixation of N_2, *Vigna unguiculata.*

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma importante cultura alimentar e constitui a principal fonte de proteína na dieta de populações pobres especialmente na América Latina e África. Contudo, é uma cultura que apresenta baixa produtividade média (300 a 400 kg ha^{-1}), principalmente no nordeste brasileiro, já que grande parte da produção está ligada a pequenas e médias propriedades, que geralmente utilizam baixo nível tecnológico (Frota & Pereira, 2000).

Dentre as tecnologias que não oneram o custo de produção, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é amplamente reconhecida por diminuir a dependência do agricultor por nitrogênio industrializado. A contribuição da FBN para o feijão-caupi está na ordem de US$ 13 milhões por ano, somente para a região nordeste brasileira (Rumjanek et al., 2005).

Para o feijão-caupi, resultados de pesquisa utilizando inoculantes para a FBN são promissores (Martins et al., 2003; Lacerda et al., 2004; Rumjanek et al., 2005; Soares et al., 2006; Zilli et al., 2006). Segundo Martins et al. (2003), em estudo com seleção de bactérias simbióticas ao feijão-caupi, foi possível selecionar a estirpe BR 3267 (Semia 6462) capaz de aumentar a produtividade em até 30%. Em Minas Gerais, Lacerda et al. (2004) verificaram que a inoculação, com as estirpes de bactérias simbióticas fixadoras de nitrogênio INPA 0311 b e UFLA 03-84 contribuiu de forma significativa para o aumento no rendimento de grãos, em relação às plantas não inoculadas e sem N mineral, efeito também verificado por Soares et al. (2006), em ensaio de campo, em Minas Gerais. Para a estirpe BR 3267, Zilli et al. (2006) sugerem para os níveis de adoção tecnológica no estado de Roraima que em solos com baixa população de rizóbio estabelecida, a estirpe BR 3267 é capaz de proporcionar rendimentos semelhantes à aplicação de 50 kg ha^{-1} de N no plantio ou 80 kg ha^{-1} de N,

parcelado em duas vezes. Com isso, pode-se dispensar a adubação nitrogenada quando a inoculação de sementes for adotada.

O feijão-caupi, apesar de ser uma planta que nodula com vários gêneros de bactérias diazotróficas simbióticas (Lewin et al., 1987, Martins et al., 1997; Melloni et al., 2006), tinha até 2004 somente uma estirpe recomendada como inoculante pela RELARE a BR 2001/SEMIA 6145. Em 2004 foram recomendadas novas estirpes, UFLA 03-84, INPA 03-11B e BR 3267. Essas estirpes, em ensaio de campo, apresentaram eficiência agronômica superior a BR 2001 (Martins et al., 2003; Lacerda et al., 2004).

Para a utilização da tecnologia de inoculação são necessárias pesquisas para determinar as melhores estirpes a serem utilizadas como inoculante numa determinada região, pois estas sofrem interferências das condições edafo-climáticas como acidez do solo, disponibilidade de nutrientes, temperatura e umidade do solo (Andrade et al., 2002, Hara & Oliveira, 2005, Hungria & Vargas, 2000, Kahindi et al., 1997, Vargas & Graham, 1988; Moreira & Siqueira, 2006). Além disso, pelo caráter promíscuo da nodulação do feijão-caupi, espécies nativas presentes no solo podem colonizar as raízes, competindo com a estirpe inoculante pelos sítios de infecção (Thies et al., 1991). Tais fatores explicam, na maioria das vezes, os resultados negativos em ensaios preliminares de seleção de estirpes numa determinada região.

Considerando-se a baixa produtividade do feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil (IBGE, 2006), que compreende os estados do Piauí e Maranhão, devido, principalmente, o uso de baixo nível tecnológico e, o fato de que a cultura se beneficia do N proveniente da FBN, torna-se necessária sua otimização, por meio da inoculação com estirpes de rizóbios eficientes e adaptadas à região. Com isso, a realização de

estudos visando avaliar a eficiência agronômica de estirpes, de acordo com protocolos estabelecidos pela RELARE para a região é necessária.

O presente estudo teve por objetivo selecionar por meio de estudos de eficiência agronômica, estirpes de BDS para serem utilizadas como inoculante para a cultura do feijão-caupi no Piauí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em setembro de 2006, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina-PI, localizado a 05°05'S e 42°48'W e altitude de 74,4 m. O clima da região segundo Köppen é do tipo Aw', que se caracteriza por apresentar temperatura média de 27,9°C, com máxima de 38,1°C e mínima de 17,8° C, umidade relativa média do ar de 69,2% e precipitação pluviométrica média anual de 1300 mm, com 80% das chuvas concentrando-se no período de janeiro a abril (Bastos & Andrade Júnior, 2000).

O solo onde foi instalado o estudo é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (Embrapa 2000), cujos atributos químicos avaliados na camada de 0 a 0,2 m foram: pH em H_2O (1:2,5) 5,45; P (Mehlich 1) 37,80 mg dm^{-3}; K^+ 0,5 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{2+} 2,36 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+} 1,71 $cmol_c$ dm^{-3}; Na^+ 0,17 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{3+} 0,06 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al 2,43 $cmol_c$ dm^{-3}; SB 4,74 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC efetiva 4,80 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC potencial 7,17 $cmol_c$ dm^{-3}; m 1,25%; V 66,15% e matéria orgânica 15,51 g kg^{-1}.

O experimento foi realizado em uma área total de 2.116 m². A área de cada parcela foi constituída por 12 fileiras de 4,0 m de comprimento, tendo como área útil às seis fileiras centrais, dispensando 1,0 m nas cabeceiras. O espaço entre as parcelas foi de 2,0 m, entre as fileiras 0,5 m e entre covas 0,25 m, segundo recomendação da RELARE (2004).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos (formas de adição de nitrogênio) e seis repetições. Em todo o experimento foi utilizado a cultivar de feijão-caupi BR 17 Gurguéia. Os tratamentos foram constituídos pelas inoculações de cinco estirpes de BDS: T1: BR 3301 (*Bradyrhizobium japonicum*), T2: BR 3302 (*Bradyrhizobium japonicum*), T3: BR 3267 (*Bradyrhizobium japonicum*), T4: BR 3299 (*Bradyrhizobium ssp*) e T5: BR 3262 (*Bradyrhizobium elkanni*) sem adição de adubação nitrogenada e três testemunhas, sendo: T6: com adubação nitrogenada de 40 kg ha^{-1} no plantio e de 40 kg ha^{-1} em cobertura sem inoculação; T7: adubação nitrogenada de 50 kg ha^{-1} no plantio sem inoculação e T8: sem adubação nitrogenada e sem inoculação. As estirpes BR 3301, BR 3302 e BR 3299 são recomendadas para cultura do feijão-caupi pela RELARE e as estirpes BR 3267 e BR 3262 são novas.

Para o preparo do solo foi feita uma aração e duas gradagens leves, sendo a primeira gradagem realizada logo após a aração e a segunda às vésperas da semeadura. As covas foram abertas com auxílio de enxadas e a semeadura foi realizada manualmente, logo após a inoculação das sementes.

Os inoculantes foram fornecidos pela Embrapa Agrobiologia, em veículo turfoso e concentração mínima de rizóbio na ordem de 10^8 células g^{-1} de inoculante. A inoculação, realizada em laboratório, consistiu da mistura de uma proporção de 500 g do inoculante para cada 50 kg de sementes umedecidas, ou seja, 12,0g do inoculante para 10 mL de solução açucarada, conforme Hungria et al. (2001).

O plantio foi realizado utilizando-se quatro sementes por cova. Após 15 dias da semeadura, feito o desbaste, deixando-se duas plantas por cova. Para o tratamento T6, que recebeu adubação nitrogenada no plantio (40 kg ha^{-1}), a adubação nitrogenada de cobertura foi feita aos 30 dias após o plantio. Para o controle das plantas daninhas, foram feitas duas aplicações (08/09 e 11/09), do herbicida Rundap® na dosagem 2,0 kg

ha^{-1} de ingrediente ativo em pré-plantio e uma capina manual aos 30 dias após o plantio com auxílio de enxada. Sempre que necessário, foram feitos tratos fitossanitários visando ao controle de pragas (pulgões, cigarrinhas, vaquinhas e tripes). O cultivo foi feito sob irrigação por aspersão convencional, as irrigações foram feitas a cada três dias por 2 horas com vazão de aspersor de 10 mL h^{-1}, que corresponde a uma lâmina de água de 20 mm.

Na primeira avaliação, realizada por ocasião do florescimento (35 dias), foram coletadas 10 plantas por parcela com as raízes intactas da terceira linha de cada lado da parcela, sendo separada a parte aérea (usando-se o ponto de inserção cotiledonar para o corte). Foram avaliados os caracteres matéria seca de nódulo por planta (MSN); número de nódulo por planta (NN); matéria seca da parte aérea por planta (MSPA); teor de N na massa seca da parte aérea (NTPA); e eficiência relativa (Efr).

A segunda avaliação foi realizada após a colheita que foi feita manualmente entre os dias 20/11/06 a 11/12/06. Foram coletadas as vagens de 10 plantas de cada parcela e também as vagens contidas na área útil de cada parcela. Posteriormente, todas as vagens foram secas ao ar e trilhadas. Foram avaliados o número de vagens por planta (NVPL); peso de vagens por planta (PVPL); acúmulo de N total da parte aérea (ANPA); teor (TNG) e acúmulo (ANG) de N dos grãos; peso de grãos por planta (PGPL) e rendimento de grãos por hectare (RG). Para a obtenção da massa seca da parte aérea, as dez plantas coletadas em cada parcela foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a temperatura de 65ºC por no mínimo 48 horas. Para peso de 100 grãos misturaram-se os grãos de cinco plantas, sendo posteriormente retirado os cem grãos para determinação do peso. Após a secagem e moagem, tanto para os grãos como para a parte aérea das plantas, foi retirada uma amostra representativa de cada parcela para determinação da matéria seca e teor de N na MSPA. Para determinação do teor de N na

MSPA utilizou-se o método semi microkjeldahl (Silva, 1981). A eficiência relativa de cada tratamento foi calculada segundo a fórmula (Bergensen et al., 1971):

$$Efr = \frac{MSPAinoculada}{MSPAcomN} \quad x\ 100$$

Em que: Efr – eficiência relativa; MSPA inoculada – matéria seca da parte aérea da planta inoculada; MSPA com N – matéria seca da parte aérea da planta com N mineral.

Os dados foram submetidos à análise de variância empregando-se o sistema de análise estatística SISVAR 4.2 (Ferreira, 2000). Para a comparação das médias dos tratamentos utilizou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se efeito significativo das formas de fornecimento de N sobre o NN e a MSN (Tabela 1). As estirpes BR 3267, BR 3299 e o tratamento testemunha com 80 kg ha^{-1} de N mineral apresentaram os maiores valores. Não foi observado redução da nodulação nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, corroborando com Zilli et al. (2006).

Staples & Toenniessen (1981) consideram que o NN por planta fornece a medida da maior ou menor susceptibilidade do hospedeiro à infecção por bactérias do gênero *Rhizobium*. Assim, o NN é conseqüência da densidade de bactérias presentes nas amostras representando uma medida semiquantitativa do número de células presentes. Pode-se, desta forma, afirmar que as estirpes BR 3267 e BR 3299 apresentaram capacidade de nodulação superior às demais estirpes, o que já é um bom indicativo de serem boas competidoras com a população nativa. Comparando o NN encontrado nos tratamentos sem fontes de N deste ensaio com os de outros verifica-se que o NN variou de 18,62 a 26,28 situando-se, na média, em relação aos obtidos em outros ensaios de campo. Martinazzo (1989), estudando o potencial de FBN no feijão-caupi, em um

Latossolo Vermelho Amarelo argiloso na Amazônia, obteve oito nódulos por planta na testemunha sem N, 12 nódulos por planta na testemunha com 80 kg de N ha^{-1} e até 118 nódulos por planta no caso de tratamentos com inoculação. Lacerda et al (2004) a partir de um ensaio de campo, afirmam que dose de 70 kg ha^{-1} de N (testemunha com N) não foi suficiente para inibir a nodulação, pois as médias de MSN e de NN ficaram no mesmo grupo da testemunha com N mineral, à exceção da estirpe UFLA 03-84, em relação a MSN. Zilli et al. (2006), em ensaio de campo em área de cerrado obtiveram na dose de 80 kg ha^{-1} de N (testemunha com N) nos anos de 2005 e 2006, número de nódulos de 10,37, e 31,92, respectivamente, e em área de mata 22,2 e 38,05, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios de número de nódulos por planta (NN) e matéria seca de nódulos (MSN), em função de diferentes formas de fornecimento de N.

Fontes de N	NN	MSN
	------número $planta^{-1}$-------	----mg $planta^{-1}$---
BR 3301	23,72 b	206,89 b
BR 3302	22,32 b	195,89 b
BR 3267	29,80 a	228,87 a
BR 3299	28,50 a	223,67 a
BR 3262	18,94 b	196,75 b
Test, c/ N - 80 kg ha^{-1}	26,28 a	171,07 c
Test, c/ N - 50 kg ha^{-1}	18,62 b	167,98 c
Test, s/ N	21,55 b	168,23 c
CV (%)	16,66	9,25

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Quando se compara o NN das estirpes BR 3267 e BR 3299 com o apresentado pelo tratamento testemunha com 80 kg ha^{-1} de N mineral, pode-se verificar que foram

iguais. Isto indica que a população nativa do solo nodulífera de caupi é competitiva para a nodulação, pois a dose de N aplicada não foi suficiente para inibi-la. Contudo as estirpes nativas apresentam menor capacidade de produção de MSN, variável considerada indicativa de eficiência simbiótica para FBN.

Para as variáveis MSPA, Efr50, Efr80, NTPA e ANPA (Tabela 2) somente o ANPA apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A falta de diferença entre o tratamento Testemunha s/ N para as variáveis MSPA, Efr50, Efr80, NTPA comprova a capacidade da população nativa em estabelecer a simbiose com feijão-caupi, leguminosa considerada promíscua (Lewin et al., 1987; Martins et al., 1997; Melloni et al., 2006).

Tabela 2. Valores médios de matéria seca da parte aérea (MSPA), eficiência relativa (Efr), nitrogênio total da parte aérea (NTPA) e acúmulo de N na parte aérea (ANPA), em função de diferentes formas de fornecimento de N.

Fontes de N	MSPA	Efr 50	Efr 80	NTPA	ANPA
	g planta^{-1}	----------%----------			mg planta^{-1}
BR 3301	11,55 a	104,59 a	128,01 a	4,46 a	516,13 a
BR 3302	9,14 a	85,36 a	98,39 a	4,52 a	404,51 a
BR 3267	8,93 a	79,70 a	92,25 a	4,48 a	393,64 a
BR 3299	10,21 a	92,80 a	108,62 a	4,44 a	454,74 a
BR 3262	10,16 a	94,52 a	105,12 a	4,49 a	457,32 a
Test, c/ N - 80 kg ha^{-1}	10,57 a	-	100,00 a	4,72 a	496,64 a
Test, c/ N - 50 kg ha^{-1}	11,11 a	100,00 a	-	4,75 a	527,69 a
Test, s/ N	7,40 a	66,34 a	74,60 a	4,25 a	238,76 b
CV (%)	30,69	30,52	35,12	8,51	30,80

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Para as variáveis NVPL, PVPL, TNG, PGPL e ANG (Tabela 3) foi verificado diferença significativa entre os tratamentos somente para ANG. Neste caso, os tratamentos que receberam a inoculação das estirpes BR 3301, BR 3267, BR 3299,

BR 3262 e o tratamento com N 50 kg ha^{-1} apresentaram maiores valores em relação a BR 3302 e as testemunhas com N 80 kg ha^{-1} e controle absoluto (sem inoculação e sem N).

Tabela 3. Número de vagem por planta (NVPL), peso de vagem por planta (PVPL), teor de N nos grãos (TNG), acúmulo de N nos grãos (ANG), peso de grãos por planta (PGPL) e rendimento de grãos (RG), em função de diferentes formas de fornecimento de N.

Fontes de N	NVPL	PVPL	TNG	ANG	PGPL	RG
		g planta^{-1}	---%---	-kg ha^{-1}-	---g----	--kg ha^{-1}--
BR 3301	11,50 a	2,24 a	4,17 a	81,49 a	18,51 a	1.953,99 a
BR 3302	11,00 a	2,21 a	4,27 a	58,54 b	17,48 a	1.369,70 b
BR 3267	11,00 a	2,26 a	4,28 a	69,91 a	18,29 a	1.637,08 a
BR 3299	12,00 a	2,26 a	4,16 a	69,49 a	19,01 a	1.672,69 a
BR 3262	11,66 a	2,16 a	4,29 a	78,18 a	17,22 a	1.823,92 a
Test, c/ N - 80 kg ha^{-1}	10,00 a	2,28 a	4,38 a	53,70 b	15,91 a	1.226,31 b
Test, c/ N - 50 kg ha^{-1}	11,50 a	2,29 a	4,27 a	80,23 a	17,73 a	1.884,61 a
Test, s/ N	9,17 a	2,23 a	4,36 a	57,21 b	17,47 a	1.313,45 b
CV (%)	21,76	6,12	3,08	17,95	18,70	17,63

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Avaliando-se os dados de produção, verificou-se que o RG dos tratamentos inoculados variou de 1953,99 kg ha^{-1} a 1369,70 kg ha^{-1} e que não houve diferença significativa para as estirpes BR 3301, BR 3267, BR 3299 e BR 3262 e para a testemunha que recebeu 50 kg de N ha^{-1}. Já a estirpe BR 3302 apresentou o mesmo RG do tratamento testemunha com 80 kg de N ha^{-1} e testemunha sem adição de N. A testemunha sem N, apesar de não diferir da estirpe BR 3302, foi a que menos produziu grãos, indicando que as bactérias nodulíferas nativas foram menos eficientes na FBN.

As estirpes BR 3267 e BR 3262 promoveram um aumento de 24,63 e 38,86%,

respectivamente, em relação à testemunha sem N e sem inoculação, aumento, estatisticamente, semelhante a testemunha com 50 kg ha^{-1} N. Estes resultados corroboram com os verificados em ensaios de campo em outras regiões (Rumjanek et al., 2005; Zilli et al., 2006). As médias do RG de 1.637,08 kg ha^{-1} para a BR 3267 e de 1.823,92 kg ha^{-1} para a BR 3262 podem ser consideradas altas quando comparadas com as médias das principais regiões do estado do Piauí (Chapada, Extremo Sul Piauiense e Alto Parnaíba Piauiense) que variam entre 181 a 880 Kg ha^{-1}.

No presente estudo foi também verificado que na comparação das médias dos tratamentos inoculados com os tratamentos nitrogenados, obteve-se um rendimento superior nos inoculados em cerca de 136 kg ha^{-1} e cerca de 378 kg ha^{-1} em relação ao tratamento sem N e sem inoculação, respectivamente.

4. CONCLUSÃO

1. A inoculação das sementes com as estirpes de bactérias diazotróficas simbióticas resultou em rendimentos de grãos equivalentes e, ou superior as testemunhas adubadas com nitrogênio mineral.
2. Entre as estirpes recomendadas pela RELARE a BR 3301 apresentou a maior produção de grãos.
3. As novas estirpes (BR 3267 e BR 3262) apresentaram produção de grãos estatisticamente igual a melhor estirpe recomendada pela RELARE e igual ao tratamento com 50 kg N $há^{-1}$.
4. As estirpes BR 3267 e BR 3262 responderam satisfatoriamente aos testes de eficiência agronômica, aoresentado ambas, alto potencial para serem recomendadas como inoculante para o feijão-caupi no Estado do Piauí.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D.S.; MURPHY, P.J.; GILLER, K.E. Effects of liming and legume/cereal cropping on populations of indigenous rhizobia in an acid Brasilian Oxisol. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.477-485, 2002.

BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Dados agrometeorológicos para o município de Teresina, PI (1980-1999).** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000, 27 p, (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 46).

BERGENSEN, F.J.; BROCKWELL, J.; GIBSON, A.H.; SCHWINGHAMER, E.A. Studies of natural populations and mutants of *Rhizobium* in the improvement of legume inoculants. **Plant and Soil**, v.46, p.3-16, 1971. (Supplement, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-CNPS, 2000. 412p.

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0**. In: REUNIÃO ANUAL BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais**. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.

FROTA, A.B.; PEREIRA, P.R. - **Caracterização da produção de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil.** In: CARDOSO, M. J. (Org.). A cultura do feijão-caupi no Meio Norte do Brasil, Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 9-25, (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28). 2000.

HARA, F.A.S.; OLIVEIRA, L.A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos de Iranduba, Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.7, p.667-672, 2005.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. Fixação biológica do nitrogênio na

cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35/ Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13). 2001, 48p.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics with an emphasis on Brazil. **Field Crops Res.**, v.65, p.151-164, 2000.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) – 1997-2006.

KAHINDI, J.H.P.; WOOMER, P.; GEORGE, T.; MOREIRA, F.M.S.; KARANJA, N.K.; GILLER, K.E. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. **Applied Soil Ecology**, v.6, p.55-76, 1997.

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; MAGALHÃES, F.M.M.; ANDRADE, M.J.B. de; SOARES, A.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. **Revista Ceres**, v.51, p.67-82, 2004.

LEWIN, A.; ROSENBERG, C.; MEYER, H.A.; WONG, C.; H. NELSON, L.; ANEN, J.F.; STANLEY, J.; DOWLING, D.N.; DÉNARIE, J.; BROUGHTON, W.J. Multiple hostspecificity loci of the broad host-range *Rhizobium* sp. NGR234 selected using the widely compatible legume *Vigna unguiculata*. **Plant Mol. Biol**. v.8, p.447-459, 1987.

MARTINAZZO, A.F. **Potencial de fixação em N_2 em *Vigna unguiculata* Walp. em diferentes condições ambientais**. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1989. 154p. (Tese Mestrado)

MARTINS, L.M.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO; J.R.A.; NEVES, M.C. P.; MORGADO, L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil, **Biology and Fertility of Soils**, v.38,n. 6, p.333–339, 2003.

MARTINS, L.M.V.; NEVES, M.C.P.; RUMJANEK, N.G. Growth characteristics and symbiotic efficincy of rhizobia isolated fron cowpea nodules of the nort-east region of Brazil. **Soil Biological and Biochemistry**, v.29, p.1005-1110, 1997.

MELLONI, R.; MOREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.235-246, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, v.1, 2006. 729 p.

RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; NEVES, M.C.P.A. Fixação biológica de nitrogênio, In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 280 - 335. 2005

SILVA, DIRCEU JORGE DA, ANÁLISE DE ALIMENTOS (MÉTODOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS), Viçosa, UFV, , 1981, 166p.

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

STAPLES, R.C. & TOENNIESSEN, G.R. **Plant disease control**. New York, Wiley, 1981. p.221-234.

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 and Environmental Microbiology**, v.57, p.19-28, 1991.

VARGAS, A.A.T.; GRAHAM, P.H. *Phaseolus vulgaris* cultivar and *Rhizobium* strain in acid-pH tolerance and nodulation under acid conditions. **Field Crops Res**. v.19, p.91-101, 1988.

ZILLI, J.E.; Marson, L.C.; Xavier, G.R.; RUMJANEK, N.G. Avaliação de Estirpes de Rizóbio para a Cultura do Feijão-caupi em Roraima.2005.

ZILLI, J.E.; VALICHESKI, R.R.; RUMJANEK, N.G.; SIMÕES-ARAUJO, J.L.; FREIRE FILHO, F.R.; NEVES, M.C.P. Eficiência simbiótica de estirpes de Bradyrhizobium isoladas de solo do Cerrado em caupi, **Pesquisa Agropecuária Brasileira***,* v.41, n.5, p.811-818, 2006.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo