

**MARCELA CAMPANHARO**

**ACIDEZ DO SOLO NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM FEIJÃO**

**RECIFE – PE  
2006**

MARCELA CAMPANHARO

**ACIDEZ DO SOLO NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM FEIJÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

RECIFE  
PERNAMBUCO - BRASIL  
2006

MARCELA CAMPANHARO

**ACIDEZ DO SOLO NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM FEIJÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador

Prof. Mario de Andrade Lira Junior, Ph D.

Co – Orientadores

Prof. Newton Pereira Stamford, Dr.

Prof. Fernando José Freire, Dr.

RECIFE  
PERNAMBUCO - BRASIL  
2006

Ficha Catalográfica  
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

C186a Campanharo, Marcela  
Acidez do solo na fixação biológica de nitrogênio  
em feijão / Marcela Campanharo. – 2006.  
72 f. il., tabs.

Orientador: Mario de Andrade Lira Junior  
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -  
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.  
Referências.

CDD 631.42

1. Acidez do solo
2. Calagem
3. Fixação de nitrogênio
4. Rizóbio
5. *Phaseolus vulgaris*
6. *Rhizobium tropici*
- I. Lira Junior, Mario de Andrade
- II. Título

# ACIDEZ DO SOLO NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM FEIJÃO

**MARCELA CAMPANHARO**

Dissertação defendida por Marcela Campanharo em 17 de fevereiro de 2006 e aprovada pela banca examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Mario de Andrade Lira Junior  
DEPA/UFRPE

Examinadores: \_\_\_\_\_  
Professor Clístenes Williams Araújo do Nascimento  
DEPA/UFRPE

\_\_\_\_\_  
Professor Fernando José Freire  
DEPA/UFRPE

\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup>. Márcia do Vale Barreto Figueiredo  
Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária

Como o peso é necessário a certos relógios, e o lastro aos navios, para o devido equilíbrio, assim é a aflição, na nossa vida. Os mais suaves aromas são obtidos sob enorme pressão; as mais delicadas flores crescem nas solidões geladas dos Alpes; as mais belas gemas são as que passaram mais tempo na roda do lapidário, as mais célebres estátuas levaram os maiores golpes de cinzel. Tudo isso, no entanto, está condicionado a leis. Nada acontece que não tenha sido ordenado com inteiro e precioso cuidado e previsão.

Contudo é na tempestade que Deus nos prepara para o seu serviço. Quando Deus quer um carvalho, Ele o planta num lugar onde as tormentas o fustigarão e onde as chuvas baterão contra ele, e é no meio da batalha contra os elementos que o carvalho ganha suas fibras rijas e se torna o rei da floresta. As belezas da natureza surgem após as chuvas. A beleza da montanha nasce na tempestade. E os heróis da vida são os que foram açoitados pela tormenta e marcados pela batalha.

**Lettie Cowman**

Esta dissertação é dedicada com muito amor às pessoas mais brilhantes da minha vida,

Aos meus pais **José Paulino Campanharo e Maria de Lourdes Pancieri Campanharo** por me ensinarem os primeiros passos e me acompanharem em todos os outros. Aos meus irmãos **José Eduardo Campanharo e Alex Campanharo** pelo amor e companheirismo.

Ao meu amor **Marcelo Curitiba Espindula** por ter me ensinado a olhar sempre o que nos une, que estar junto significa mais que presença física e que comunhão significa união de espírito.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Antes de fazer meus agradecimentos, quero aproveitar o ensejo para dizer que devemos indubitavelmente viver uma vida que nos permita olhar para trás e sorrir. Com a realização desta dissertação de mestrado aprendi que quando a gente pensa que tudo terminou, estamos apenas começando. Aprendi que liberdade é você pensar com sua própria cabeça, bem alto. Descobri em mim mesma como é construir o próprio sentido do pensar e não somente admitir o que nos é imposto mentalmente, assim entendendo a essência da alma como cientista.

A Deus por ter suavizado a canção, por ter me lapidado a cada manhã, proporcionando inconformismo construtivo, mantendo os meus pés no chão e também por não ter me deixado fugir nenhuma vez do caminho por mim escolhido.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade e condições concedidas para a realização do Curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos fomentando o meu desenvolvimento profissional.

Ao meu orientador, Professor Ph. D. **Mario de Andrade Lira Junior** por ter me ensinado que limitações foram feitas para serem superadas e que sem tentar jamais poderemos dizer: Não sei fazer! Obrigada por não ter respeitado minhas limitações, por todos os “Nãos”, os “Te vira” e os “Divirta-se” que me disse. Isso me fez aprender a caminhar com minhas próprias pernas e a visualizar melhor a realidade do mundo científico.

Aos meus co-orientadores Professor Dr. **Newton Pereira Stamford** e Professor Dr. **Fernando José Freire**.

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Professor Ph. D. **Emídio Cantídio de Oliveira Filho** e Dr<sup>a</sup>. **Maria Betânea Galvão dos Santos Freire**.

A **Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA**, na pessoa de **José de Paula Oliveira** pela concessão do inoculante e das sementes de feijão para a realização do experimento.

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

Aos responsáveis pelos Laboratórios de Física do Solo, de Química do Solo, de Microbiologia do Solo e de Fertilidade do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade concedida para a realização de todas as análises.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo **Maria do Socorro de Santana** (Socorrinho), **Severino dos Ramos Basto** (Seu Noca) e **Josué Camilo de Melo** por estarem sempre prontos a nos atender, pelo carinho e apoio.

Ao **Anacleto José da Fonseca Junior**, **Iraci Maria de Mendonça Bastos Vieira**, e a professora Dr<sup>a</sup>. **Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos** pela atenção e disponibilidade para ajudar em todos os momentos que precisei.

Aos meus pais **José Paulino Campanharo** e **Maria de Lourdes Pancieri Campanharo** pelo trabalho e pelo esforço que nunca mediram para que vencêssemos juntos. Pela paciência, amor, compreensão, apoio, torcida e pelas dificuldades que me ensinaram a superar. Pelos pais maravilhosos que são, pelo exemplo de vida, pela educação que me deram e que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus irmãos **José Eduardo Campanharo** e **Alex Campanharo** pelos exemplos de compromisso, dedicação, disciplina, determinação e força de vontade. Obrigada por serem irmãos amáveis, presentes, atenciosos, abertos ao diálogo e por terem sido escolhidos pelas mãos de Deus para partilharem momentos mais do que únicos comigo nesta terra.

A minha cunhada **Patrícia Lopes Nunes** pela presença e pelo apoio. Obrigada por ter cumprido também o seu papel de filha, principalmente neste período que estive ausente dos meus pais fisicamente.

Ao meu amor **Marcelo Curitiba Espindula** pelo imensurável apoio, amor, compreensão, companheirismo, paciência, cumplicidade e pela ajuda que me permitiu criar metas, abraçá-las e também por me ajudar a manter sempre os pés no chão e a cabeça nas nuvens.

As famílias **Pancieri**, **Campanharo** e **Curitiba, Espindula** pelo carinho, apoio, compreensão, incentivo e paciência.

Ao **Irieu Idenobio Degasperi** por tantos momentos partilhados comigo e minha família que te fez se tornar um irmão querido, que considero muito. Obrigada pela amizade e pelo seu carinho.

A minha querida e adorável amiga **Flávia Mariani Barros** por tudo que sempre me ensinou, por tudo que vivemos, enfrentamos, superamos e aprendemos

juntas desde a graduação. Hoje, apesar de quilômetros de distância nos separar, sua presença em minha vida não deixou de ser marcante.

Ao **José Valdemir Tenório da Costa** pelo companheirismo, pela colaboração durante o curso de mestrado, pelos ensinamentos e partilha. Pelas gargalhadas, incentivo, otimismo, amizade e por ser o meu irmão mais velho.

Ao **Mérisson Rezende de Moraes** pelo carinho, sinceridade e respeito. Por ter sido atencioso sempre que conversei comigo, por ter me ouvido e dado força quando precisei e por ter me ensinado tantas coisas.

A **Priscila Alves Lima** pelo entusiasmo de todos os dias que me ajudou a superar momentos difíceis de saudade. Obrigada por ter partilhado comigo desde a graduação tantos momentos importantes, inclusive a obtenção deste nosso mais novo título.

A **Luciana Macedo** pela amizade, consideração e respeito, por tantas conversas importantes que tivemos e por ter permitido que eu ficasse com um pouquinho de sua luz.

Aos companheiros de república: **Hugo José Gonçalves dos Santos Júnior, Hugo Bolsoni Zago, Gilberto Santos Andrade e Priscila Alves Lima** por tantos apanchos e emoções vividas.

Aos colegas de turma: **Ana Cristiane Queiroz Santos, Carlos Eduardo Soares de Sousa, Évio Eduardo Chaves de Melo, Michelangelo de Oliveira Silva, Patrícia Maia de Moura, Priscila Alves Lima, Sandro Barbosa Figueira e Sebastião de Arruda Júnior.**

Ao **Vinícius Gedeão Bezerra de Carvalho, Hercylio Félix de Andrade, Kessiana Pereira Leite, Rafael Fernandes de Abreu e Lima Ferreira, Liliane Roberta de Mélo Filho, Silvio Henrique Lino Dias, Fabiana Aparecida da Silva Araújo, Clayton Albuquerque de Sousa.**

A Dona **Denise Maria de Sousa Santos** pela honestidade, simplicidade e por ter cuidado de mim e de meus companheiros de república com tanta dedicação e respeito, a Dona **Cleide Cristina Guilherme Pereira** por ter feito com tanto carinho nossas refeições.

Ao **Seu Luís Manoel da Silva** pela simplicidade, curiosidade, presença, principalmente quando todos iam embora e por ter sido meu anjo da guarda.

## TABELA DE CONTEÚDOS

AGRADECIMENTOS	III
TABELA DE CONTEÚDOS	VI
RESUMO GERAL	VII
GENERAL ABSTRACT	VIII
INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	11
COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE NECESSIDADE DE CALAGEM	15
RESUMO	15
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
CONCLUSÕES	30
AGRADECIMENTOS	30
REFERÊNCIAS	30
SIMBIOSE RIZÓBIO E FEIJOEIRO SOB NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
CONCLUSÕES	61
AGRADECIMENTOS	61
REFERÊNCIAS	62

## RESUMO GERAL

Considerando a importância da acidez do solo nas condições tropicais, em especial em sistemas dependentes da fixação biológica de nitrogênio, e a existência de diferentes métodos de necessidade de calagem, este trabalho teve como objetivo avaliar as metodologias de necessidade de calagem no Brasil. Foi realizada análise e seleção de modelos de regressão para pH,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , considerando as doses de  $\text{CaCO}_3$  como variáveis independentes, para cada solo. Os dados estimados foram submetidos à análise de variância, considerando um delineamento em blocos, sendo cada solo uma repetição. Em que para o entendimento dos efeitos da acidez sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) foi realizado um segundo experimento com o objetivo de avaliar a simbiose *Rhizobium tropici* II B estirpe CIAT 899 e o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa, cultivado em solo sob níveis de acidez. Foi utilizado um LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média, coletado em profundidade de 0,0 a 0,3 m. Amostras contendo 5 kg de solo receberam 3g de inoculante turfoso com a estirpe CIAT 899 e foram incubadas durante trinta dias em sacos plásticos. Parte deste solo foi umedecida juntamente com o inoculante, enquanto outra parte recebeu doses de  $\text{CaCO}_3$  e MgO na relação molar (3:1) para elevar o pH a diferentes níveis. Uma terceira parte do solo recebeu 1000 mL de ácido acético glacial em cada saco plástico a fim de baixar o pH do solo para 4,00. As doses de  $\text{CaCO}_3$ , MgO e ácido foram baseadas em resultados previamente obtidos em curvas de incubação. No estágio inicial de desenvolvimento o feijoeiro foi mais afetado pelo baixo pH do solo. A estirpe de rizóbio CIAT 899 inoculada 30 dias antes do plantio conseguiu sobreviver e nodular as raízes do feijoeiro.

## GENERAL ABSTRACT

Considering soil acidity importance under tropical conditions, especially in systems dependent of biological nitrogen fixation, and the existence of different liming recommendation methods, this work aimed to evaluate liming recommendation methods in Brazil. Regression models analysis and selection was conducted for pH,  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ , with  $CaCO_3$  levels as independent variables, in an independent manner for each soil. Estimated data for each soil was submitted to analysis of variance, considering a block design with each soil as a replicate. The method used in this research has vasontial for use in the comparison of different liming recommendation methods, since it allows the comparison of large soil numbers, in a standard way, in a relatively simple way. Since the search for the solution of acidity effects on biological nitrogen fixation depends on a better understanding of the problem, a second experiment was conducted to evaluate bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Princesa and *Rhizobium tropici* II B strain CIAT 899 in acid soils. A loamy, alic yellow latossol was used and collected at 0-30 cm depth. Five kg dry soil mass samples were prepared in plastic bags incubated for thirty days and each experimental unit received three grams of peat based inoculant with *Rhizobium tropici* II B CIAT 899. Part of the soil was wetted with the inoculant, other part received  $CaCO_3$  and Mg) (3:1) to increase soil pH to different levels, while another part received acetic acid to decrease soil pH.  $CaCO_3$ , MgO and acid levels were based on previous experiments. Results indicate the at initial development stages beans was more affected by low soil pH, but that up to the end of the cycles soil acidity affects the plant. Rhizobia inoculated to the soil 30 days before planting survived and nodulated bean roots.

## INTRODUÇÃO GERAL

Os solos brasileiros geralmente caracterizam-se por acentuado processo de intemperismo e lixiviação de bases. Isso origina solos ácidos, que podem se tornar fatores limitantes ao aprofundamento do sistema radicular, o que ocasiona problemas no estabelecimento das culturas (Dal Bó et al., 1986). Solos ácidos interferem de maneira generalizada na absorção e translocação de nutrientes, na redução progressiva no crescimento da parte aérea e menor produção de biomassa seca da raiz, podendo acarretar deficiência nutricional (Beutler et al., 2001).

Na década de 60, pesquisas sobre a correção da acidez e a recuperação da produtividade dos solos ácidos no Brasil possibilitaram o prolongamento da exploração agrícola em uma dada área, reduzindo a necessidade de desmatamentos e promovendo estudos que possibilitassem maior produtividade agrícola (Sousa & Lobato, 2005).

A calagem é uma técnica com baixa relação custo/benefício para controle da acidez em diversas culturas. Os principais objetivos da calagem são: neutralizar os íons  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  e  $Mn$ ; aumentar a capacidade de troca de cátions e a saturação por bases; reduzir a adsorção de P; e melhorar a atividade microbiológica do solo. Estes efeitos combinados resultam na adequada nutrição das plantas e, conseqüentemente, maior produção (Prado, 2003). É importante salientar que não existe uma fórmula universal para o cálculo da necessidade de calagem que atenda a todos esses critérios (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998; Fullin, 2001). Por isso, para atender um ou outro desses quesitos, existem vários métodos de determinação da necessidade de calagem, que podem variar de acordo com certos objetivos e princípios analíticos envolvidos (Alvarez et al., 1999).

O controle da acidez dos solos tropicais e a recuperação da produtividade pela utilização de insumos, promoveram a abertura de fronteiras agrícolas, e exploração de áreas antes não agricultáveis, resultando em maior produtividade agrícola. As áreas de fronteira agrícola caracterizam-se, entre outros fatores, por solos relativamente pobres em nutrientes, com destaque para o teor relativamente baixo de matéria orgânica.

A melhor alternativa para adicionar nitrogênio ao solo a um custo biológico e economicamente compensador é o aproveitamento das leguminosas (Souza, 2006). Pelo fato da eficiência da FBN em leguminosas, como o feijoeiro, depender de

fatores relacionados à própria planta, a bactéria e ao solo (Bala et al., 2003), é de fundamental importância entender melhor como a acidez do solo interfere na dinâmica da FBN que contribui para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

As plantas dependentes da fixação biológica de nitrogênio são freqüentemente mais prejudicadas pela acidez do solo e por outros efeitos abióticos, comparadas às outras plantas que recebem nitrogênio mineral (Graham, 1992; Munns, 1992; Hungria & Vargas, 2000). No entanto, esses mecanismos causais não são bem conhecidos.

O efeito da acidez em si é caracterizado pelas deficiências de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P e Mo, normalmente associadas às condições ácidas, e a toxidez provocada pela elevação nos teores de  $\text{Al}^{3+}$  e Mn que são fatores limitantes ao estabelecimento da leguminosa e, conseqüentemente, à simbiose entre rizóbio e leguminosa (Ribeiro Júnior et al., 1987; Miguel & Moreira, 2001). Condições ácidas do solo também interferem na troca de sinais entre leguminosa-rizóbio (Richardson et al., 1988a; Richardson et al., 1988b) e no tamanho dos nódulos (Cordovilla et al., 1996; Arrese-Igor et al., 1999; Silveira et al., 2001).

Alterações observadas diretamente na população rizobiana do solo e atribuídas ao baixo pH do solo têm sido reportadas, como: depressão das populações de rizóbios devido aos íons  $\text{H}^+$ , Mn e pela toxidez do  $\text{Al}^{3+}$  (Richardson et al., 1988b; Evans, 1990); inibição do crescimento dos pêlos radiculares e da infecção destes microrganismos, devido à deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  (Flis et al., 1993); reduções específicas de crescimento radicular e formação do nódulo pela presença de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  (Brady et al., 1994); e supressão da fixação através dos nódulos formados, pela disponibilidade reduzida de Mo (Coventry et al., 1985).

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.**). Viçosa, 1999, 359 p.

ARRESE-IGOR, C.; GONZALEZ, E. M.; GORDON, A. J.; MINCHIN, F. R.; GALVEZ, L.; ROYUELA, M. Sucrose synthase and nodule nitrogen fixation under drought and other environmental stresses. **Symbiosis**, Rehovot, v. 27, p. 189-212, 1999.

BALA, A.; MURPHY, P.J.; OSUNDE, A.O.; GILER, K.E. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. **Applied of Soil Ecology**, Amsterdam, v. 22, p. 211-223, 2003.

BRADY, D. J.; ASHER, C.J. Effects of aluminium on the peanut (*Arachis hypogea* L.)/ *Bradyrhizobium* symbiosis. **Plant and Soil**. The Hague, v. 159, p. 265-276, 1994.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 923-928, 2001.

Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 1998, 198p.

CORDOVILLA, M. D. P.; LIGERO, F.; LUCH, C. Growth and nitrogen assimilation in nodules in response to nitrate levels in *Vicia faba* under salt stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 203-210, 1996.

COVENTRY, D.R.; HIRTH, J. R.; REEVES, T.G.; BURNETT, V. F. Growth and nitrogen fixation by subterranean clover in response to inoculation, molybdenum application and soil amendment with lime. **Soil Biology and Biochemistry**. Elmsford, v. 17, p. 791-796, 1985.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, p. 195-198, 1986.

EVANS, J. DEAR, B.; O'CONNOR, G. E.; OSBORNE, G. J. Influence of an acidity on the herbage yield and nodulation of five annual pasture legumes. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 30, p. 60, 1990.

FLIS, S. E.; GLENN, A.R.; DILWORTH, M. J. The interaction between aluminium and root nodule bacteria - review. **Soil Biology and Biochemistry**. Elmsford, v. 25, p. 403-417, 1993.

FULLIN, E.A. Acidez do solo e calagem. In: DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de Necessidade de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. 4. Aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER, p. 70-98. 2001.

GRAHAM, P. H. Stress tolerance in *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and nodulation under adverse soil conditions. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 38, p. 475-484, 1992.

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

MIGUEL, D. L.; MOREIRA, F. M. S. Influência do pH do meio de cultivo e da turfa no comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25. p. 873-883, 2001.

MUNNS, D. N. Soil acidity and nodulation. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. East Melbourne, p. 263, 1992.

PRADO, R.M. **Efeito da calagem no desenvolvimento, no estudo nutricional e na produção de frutos da goiabeira e da caramboleira.** 2003. 68 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; LOPES, E. S.; FRANCO, A. A. Eficiência de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. Para quatro leguminosas arbóreas e competitividade das estirpes em *Albizia lebbek* em latossolo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v. 11. p. 275-22, 1987.

RICHARDSON, A. E.; DJORDJEVIC, M. A.; ROLFE, B. G.; SIMPSON, R. J. Effects of pH, Ca and Al on the exudation from clover seedling of compounds that induce the expression of nodulation genes in *Rhizobium trifolii*. **Plant and Soil**, v. 109, p. 37-47, 1988a.

RICHARDSON, A.E.; SIMPSON, R.J.; DJORDJEVIC, M.A.; ROLFE, B.G. Expression of nodulation genes in *Rhizobium leguminosarum* bv Trifolii is affected by low pH by Ca an Al ions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, p. 2541-2548, 1988b.

SILVEIRA, J. A. G. D.; COSTA, R. C. L. D.; OLIVEIRA, J. T. A. Drought-induced effects and recovery of nitrate assimilation and nodule activity in cowpea plants inoculated with *Bradyrhizobium* spp. under moderate nitrate level. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 32, p. 187-194, 2001.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. Fertilidade dos solos do Cerrado. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2005. Palestra. 1 CD – ROM.

SOUZA, L. A. G. **Diversidade de rizóbios e eficiência na fixação biológica de N em leguminosas arbóreas em solos remanescentes da Mata Atlântica em Pernambuco (Brasil).** 2006. 309 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2006.

## **CAPÍTULO I**

---

### **COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE NECESSIDADE DE CALAGEM EM USO NO BRASIL**

## COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE NECESSIDADE DE CALAGEM EM USO NO BRASIL<sup>1</sup>

Campanharo, M.<sup>2</sup>; Lira Junior, M. A.<sup>3</sup>; Nascimento, C. W. A.<sup>4</sup>; Freire, F. J.<sup>4</sup>; Costa, J. V. T.<sup>5</sup>; Silva, F. A. A.<sup>6</sup>; Sousa, C. A.<sup>6</sup>;

### RESUMO

Considerando a importância da acidez do solo nas condições tropicais, bem como a existência de diferentes métodos de necessidade de calagem, este trabalho objetivou avaliar métodos de necessidade de calagem em uso no Brasil. As unidades experimentais foram solos em copos plásticos com as doses 0, 1, 2, 3 e 4 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, em arranjo fatorial com três classes de solo, no delineamento em blocos, com cinco repetições. Foram realizadas leituras de pH a cada sete dias, durante oito semanas. Foi realizada análise e seleção de modelos de regressão para pH, Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, considerando as doses de CaCO<sub>3</sub> como variáveis independentes, para cada solo. As equações obtidas foram utilizadas para estimar os valores de pH, Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, considerando as necessidades de calagem pelos diferentes métodos. Os dados estimados para cada solo foram submetidos à análise de variância, sendo cada solo uma repetição. Os métodos de saturação por bases e da neutralização do alumínio adotados nos Estados de São Paulo e Pernambuco apresentaram os melhores resultados para pH. Esses métodos atingiram os objetivos, enquanto os demais resultaram em valores de pH abaixo do desejável, porém adequados para a maioria das culturas. O método adotado nesta pesquisa apresenta potencial para uso na comparação de diferentes métodos de necessidade de calagem, por permitir a comparação de número expressivo de solos, de forma relativamente simples, e sob condições padronizadas.

**Palavras-chave:** acidez do solo, metodologia, LATOSSOLO AMARELO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, CaCO<sub>3</sub>.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado como parte da dissertação do primeiro autor junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE.

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Mestranda do Programa de Pós - Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da UFRPE. [marcelaufupe@yahoo.com.br](mailto:marcelaufupe@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Professor Adjunto da UFRPE (Autor para contato. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Av. Dom Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900. [mliraj@ufrpe.br](mailto:mliraj@ufrpe.br))

<sup>4</sup> Professores Adjuntos da UFRPE.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo. Doutorando no Programa de Pós - Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRPE. [jvtcnovo@hotmail.com](mailto:jvtcnovo@hotmail.com)

<sup>6</sup> Discente do curso de Agronomia da UFRPE.

## ABSTRACT

Considering the importance of soil acidity under tropical conditions, and the existence of different liming recommendations, this work aimed to evaluate Brazilian liming recommendation methods. Experimental units were plastic cups with 0, 1, 2, 3 or 4 t.ha<sup>-1</sup>, of CaCO<sub>3</sub> in a factorial arrangement with three soil classes in a block design with five replicates. Soil pH was measured weekly for eight weeks. Regression analysis was conducted and models were selected for pH, Al<sup>3+</sup> and Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, considering CaCO<sub>3</sub> as the independent variable for each soil class. The equations were used to estimate pH, Al<sup>3+</sup> and Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, for the liming recommendation methods. Each soil estimated values were submitted to ANOVA analysis, considering each soil as a replicate, under the block design. Liming recommendation methods of São Paulo and Pernambuco states had the best results for pH, considering the estimated values as closer to those obtained by the initial liming curve. These methods achieved their objectives, while the remainder resulted in lower pH values than desirable. The method adopted in this research has potential for use in the comparison of different recommendation methods, since it allows the comparison of a high number of soils, in a relatively simple manner, and under standard conditions.

**Key words:** soil acidity, methodology, Yellow Latossol, Argissolo Vermelho Amarelo, CaCO<sub>3</sub>.

## INTRODUÇÃO

Uma vasta área de solos no mundo incluindo a maioria dos solos brasileiros são afetados pela acidez elevada, problema este exacerbado pela aplicação de doses elevadas de fertilizantes com certos nutrientes e até em menor escala pela produção de H<sup>+</sup> durante a fixação biológica do nitrogênio, atividade heterotrófica de raízes e microrganismos, lixiviação de bases e deposição atmosférica do H<sup>+</sup>.

A acidez do solo afeta mais de 800 milhões de hectares na América Latina (Graham, 1992), inclusive a maioria dos solos brasileiros, devido ao acentuado processo de intemperismo e lixiviação de bases trocáveis. Em solos ácidos, a toxidez por alumínio e/ou manganês e/ou baixos níveis de cálcio e magnésio são fatores limitantes à divisão celular, ao crescimento e ao aprofundamento do sistema radicular, a disponibilidade de nutrientes e à atividade biológica, afetando tanto o

estabelecimento como o desenvolvimento das culturas (Paiva et al., 1996; Ernani et al., 2000).

Dentre os fatores químicos relacionados à acidez do solo, os mais estudados são relacionados a  $\text{Al}^{3+}$  e a  $\text{Ca}^{2+}$ . Os efeitos tóxicos relacionados a  $\text{Al}^{3+}$  podem ser divididos em dois: um indireto, afetando a absorção de outros nutrientes, principalmente o P e o  $\text{Ca}^{2+}$ , e outro, pela ação direta do  $\text{Al}^{3+}$  afetando a divisão celular e o crescimento do sistema radicular das plantas (Pavan et al., 1982; Kochian, 1995).

A presença de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo em contato com o sistema radicular é fundamental para a sobrevivência das plantas, pois este nutriente não se transloca da parte aérea para as partes novas das raízes em crescimento (Caires et al., 2001). Deficiência de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo limita o crescimento das raízes na maioria das espécies cultivadas, tendo as leguminosas o desenvolvimento de nódulos reduzido (Macció et al., 2002). A aplicação de corretivos em solos ácidos eleva o pH, aumenta as cargas negativas no complexo de troca e diminui a solubilidade do  $\text{Al}^{3+}$  e do Fe, aumentando por isso a disponibilidade de P na solução do solo, e a retenção de cátions (Ernani et al., 2000).

Deste modo, a calagem é uma prática necessária na maior parte dos solos brasileiros. No entanto, a determinação da necessidade de calagem não apresenta metodologia unificada em todo o Brasil. São quatro os principais métodos para se estimar a necessidade de calagem dos solos no Brasil: método da solução tampão (SMP), método da saturação por bases, método da elevação dos teores de cálcio e magnésio, método da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  (Lopes et al., 1990; Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998; Alvarez & Ribeiro, 1999; Fulin, 2001).

O método da solução tampão (SMP) consiste em agitar uma quantidade de solo com um volume desta solução tampão e através do pH desta suspensão, representado pelo pH SMP, é consultada uma tabela específica, lendo-se diretamente a quantidade de calcário a aplicar. Este método é bastante utilizado nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Lopes et al., 1990; Alvarez & Ribeiro, 1999).

O método da saturação por bases baseia-se na relação existente entre pH do solo e a saturação por bases e é utilizado nos Estados de São Paulo e Paraná. Quando se quer, através da calagem atingir um valor definido de saturação por bases, corrige-se a acidez do solo até um pH definido, considerado adequada à cultura em que se deseja trabalhar. Na fórmula são considerados parâmetros

referentes ao solo, ao corretivo e a cultura que se deseja implantar, em que:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = T(V_2 - V_1)/100 \times f$ , onde:  $NC$  = Necessidade de calagem;  $T$  = capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{H} + \text{Al}^{3+}$ )/ $100 \text{ cm}^3$ ;  $V_2$  = Saturação por bases desejada para a cultura a ser implantada;  $V_1$  = Saturação por bases atual do solo ( $S/T \times 100$ );  $S$  = Soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ /100  $\text{cm}^3$ ) e  $f = 100/\text{PRNT}$  do corretivo (Lopes et al., 1990; Alvarez & Ribeiro, 1999, Fulin, 2001).

Um dos critérios mais simples para se obter a necessidade de calagem é aquele baseado na neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ . Isso, pelo fato do  $\text{Al}^{3+}$  ser considerado um dos principais componentes relacionados à acidez. Com isso, o objetivo deste método é eliminar ou reduzir o  $\text{Al}^{3+}$  a teores não tóxicos às plantas. A fórmula utilizada neste método é a seguinte:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+}/100 \text{ cm}^3 \times f$ , onde:  $f = 1,5$  para culturas tolerantes a acidez, como as gramíneas e  $f = 2,0$  para culturas sensíveis a acidez, como as leguminosas (Lopes et al., 1990; Alvarez & Ribeiro, 1999, Fulin, 2001).

Variações do método da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  são utilizadas em diversas regiões no Brasil. Essas visam à neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  trocável e também elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  trocáveis. No Estado do Espírito Santo:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+}/100 \text{ cm}^3 + (2 - \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/100 \text{ cm}^3)]$ . No Estado de Goiás:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+}/100 \text{ cm}^3 + (2^* - \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/100 \text{ cm}^3)]$ . \* Para solos com teor de argila inferior a 20% deve-se substituir o valor 2,0 por 1,2. No Estado de Minas Gerais:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Y [\text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+} - (m_t/100)] + [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$ , onde:  $m_t$  = Máxima saturação por  $\text{Al}^{3+}$  tolerada pela cultura;  $Y$  = Capacidade tampão do solo: 1 para solos arenosos (<15% de argila), 2 para solos de textura média (15<35% de argila) e 3 para solos argilosos (>35% de argila);  $X$  = Exigências das culturas em  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ : 1 para culturas como o eucalipto, 2 para a maioria das culturas e 3 para culturas como o cafeeiro por exemplo (Lopes et al., 1990; Alvarez & Ribeiro, 1999, Fulin, 2001).

Na região do Cerrado utiliza-se para solos com teor de argila maior que 20% e teor de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  menor que  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3 /100 \text{ cm}^3$  a seguinte fórmula:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Y [\text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+} - (m_t/100)] + [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$ . Para solos com teor de argila maior que 20% e teor de  $\text{Ca} + \text{Mg}$  maior que  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3 /100 \text{ cm}^3$  utiliza-se esta outra fórmula:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}/100 \text{ cm}^3$  e para solos com teor de argila menor que 20% utilizam-se estas duas fórmulas:  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+}/100 \text{ cm}^3$ ; ou  $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2 - \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/100 \text{ cm}^3$ , devendo ser utilizado o

maior valor encontrado para a necessidade de calagem (NC). Este método também visa neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  e elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  exigidos pelas culturas (Lopes, 1990).

Neste método de neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  e da elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  procura-se por um lado, corrigir a acidez do solo e para isso, leva-se em conta a susceptibilidade, ou a tolerância da cultura à elevada acidez trocável e, por outro, o objetivo é elevar a disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  de acordo com as exigências das culturas nestes nutrientes. As diferenças entre os valores das necessidades de calagem baseiam-se em aspectos como a susceptibilidade, ou a tolerância da cultura a acidez, a capacidade tampão do solo e a disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  de acordo com as exigências das culturas nestes nutrientes, e o teor de argila, características estas que são adotadas de forma diferente em cada um dos métodos de necessidade de calagem (Lopes et al., 1990; Alvarez & Ribeiro, 1999; Fulin, 2001).

No Estado de Pernambuco utilizam-se também variações do método de neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ . A Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco sugere que a necessidade de calcário ( $\text{t ha}^{-1}$ ) que deve ser aplicada na profundidade de até 0,20 m, seja feita utilizando-se o maior valor obtido, comparando a necessidade de neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  trocável ou suprir a necessidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  da planta. As fórmulas utilizadas são:  $\text{NC} (\text{t ha}^{-1}) = \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Al}^{3+} / 100 \text{ cm}^3 \times f$ . A variável  $f$  é chamada de fator de calagem, e tem sido alterada de acordo com as exigências da cultura, a textura do solo, o teor de matéria orgânica, podendo variar entre 1,5; 2,0 e 3,0. No entanto, para solos com baixos teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável, assim como, com baixos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, foi necessário introduzir outro critério complementar, visando corrigir a acidez e suprir as deficiências de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo utilizada a maior dose encontrada, que é estimada da seguinte forma:  $\text{NC} (\text{t ha}^{-1}) = \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \times f$ ; ou  $(2 - \text{cmol}_c \text{ dm}^3 \text{ Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \text{ dm}^3) \times f$ . Onde  $f = 1,5$ ; 2,0 e 2,5 para solos com teores de argila <15; 15 a 35 e >35% respectivamente (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998).

O objetivo deste trabalho foi determinar curvas de correção de três solos da Zona da Mata de Pernambuco para avaliar os métodos de necessidade de calagem no Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três solos da Zona da Mata de Pernambuco, classificados como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A moderado, Textura Média/Argilosa (Argissolo), ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A moderado (Espodossolo) e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A moderado Textura Média (Latossolo).

Os solos foram coletados na profundidade de 0 a 30 cm e preparados para realização das análises físicas e químicas conforme métodos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). A “capacidade de vaso” foi determinada para cada solo, sendo os mesmos umedecidos até saturação por capilaridade, por um período de vinte e quatro horas. Após este período foram submetidos à drenagem livre, durante duas horas, para verificar o volume de água que corresponderia ao volume de macroporos, estes resultados permitiram a obtenção da capacidade de aeração e, conseqüentemente, da quantidade de água necessária para saturá-los (Tabela 1). As unidades experimentais foram constituídas pelos solos em copos plásticos com volume aproximado de 500 cm<sup>3</sup>, que receberam calagem equivalente a 0, 1, 2, 3 e 4 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, em um arranjo fatorial 3 solos x 5 doses de CaCO<sub>3</sub>, no delineamento em blocos, com cinco repetições.

**Tabela 1** – Características físicas e químicas iniciais dos solos ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa, ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A Moderado e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado Textura Média

Solos	Caracterização Física									
	Areia <sup>1</sup>	Silte	Argila	Θm	AD	CP	CA	DS	DP	PO
Argissolo	615,0	278,5	106,5	0,03	9,0	0,1	2,8	1,4	2,5	44
Espodossolo	754,0	152,5	93,5	0,01	7,5	0,3	2,5	1,7	2,5	33
Latossolo	668,0	70,0	262,0	0,01	8,3	0,3	3,8	1,6	2,6	37

	Caracterização Química									
	pH <sup>2</sup> (H <sub>2</sub> O-1: 2,5)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	CO	MO
		----mg	dm <sup>-3</sup>	-----	-----cmol <sub>c</sub>	dm <sup>-3</sup>	-----		--g	kg <sup>-1</sup> --
Argissolo	4,7	1,0	58,5	23,0	0,7	0,4	1,0	5,5	4,5	7,8
Espodossolo	4,6	1,0	42,9	41,4	1,2	0,8	1,2	6,1	7,1	12,3
Latossolo	4,8	1,0	54,6	16,1	0,6	0,3	0,9	6,4	4,2	4,5

<sup>1</sup>Quantidades de areia, silte e argila, dadas em g kg<sup>-1</sup>, água disponível na base de biomassa (Θm) dada em g g<sup>-1</sup>, água disponível na base de volume Θv (AD) dada em (cm cm<sup>-3</sup>), capacidade de vaso na base de biomassa (CP) dada em (g g<sup>-1</sup>), capacidade de aeração (CA) dada em (cm cm<sup>-3</sup>), densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP) dadas em (g cm<sup>-3</sup>) e porosidade (PO) dada em %. <sup>2</sup>pH – pH do solo em água (1: 2,5); P – Fósforo disponível; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Al<sup>3+</sup> – Alumínio trocável; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; CO – Carbono Orgânico; MO – Matéria orgânica. Todas as determinações foram feitas de acordo com os métodos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

Durante oito semanas foram coletadas amostras de cada parcela a cada sete dias para a determinação do pH ao longo do tempo nestes solos. Ao final do experimento, foram determinados os teores de P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al<sup>3+</sup>, CO e MO de acordo com métodos da EMBRAPA (1997).

A análise estatística foi conduzida utilizando o “Guided Data Analysis Procedure” do SAS (SAS Institute, 1999) para determinação de eventuais “outliers” e transformações requeridas para adequação aos requisitos da análise de variância. Foi realizada análise e seleção de modelos de regressão, para pH, Al<sup>3+</sup> e teor de Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, considerando as doses de CaCO<sub>3</sub> como variáveis independentes, efetuadas de forma independente para cada solo.

As equações obtidas foram utilizadas para estimar os valores de pH, Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup> mais magnésio que seriam obtidos considerando as calagens recomendadas pelos diferentes métodos estudados (Lopes et al., 1990; Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998; Alvarez & Ribeiro, 1999; Fulin, 2001). Os dados estimados para cada solo foram utilizados para comparar os métodos de necessidade de calagem, sendo submetidos à análise de variância, considerando um delineamento em blocos, com cada solo constituindo uma repetição

**Tabela 2** – Métodos de necessidades de calagem em uso no Brasil, seus objetivos, respectivas fórmulas e os locais de uso destes métodos (Lopes, 1990; Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998; Alvarez & Ribeiro, 1999; Fulin, 2001)

Métodos	Objetivos	Fórmulas	Em uso:
Neutralização do $Al^{3+}$ trocável e elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ trocáveis	Neutralizar o $Al^{3+}$ e suprir as exigências da planta em $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	(A) Para solos com teor de argila maior que 20% e teor de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ menor que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , usa-se: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3 + (2 - \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Ca^{2+}+Mg^{2+}/100 \text{ cm}^3)]$ . (B) Para solos com teor de argila maior que 20% e teor de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ maior que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , usa-se: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3$ e (C) para solos com teor de argila menor que 20% usa-se: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3$ ; ou, $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \cdot \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Ca^{2+}+Mg^{2+}/100 \text{ cm}^3$ . Devendo-se utilizar o maior valor de NC obtido nesta última condição.	Cerrado
Neutralização do $Al^{3+}$ trocável e elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ trocáveis	Neutralizar o $Al^{3+}$ e suprir as exigências da planta em $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3 + (2 \cdot \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Ca^{2+}+Mg^{2+}/100 \text{ cm}^3)]$ .	Espírito Santo
Neutralização do $Al^{3+}$ trocável e elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ trocáveis	Neutralizar o $Al^{3+}$ e suprir as exigências da planta em $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3 + (2 \cdot \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Ca^{2+}+Mg^{2+}/100 \text{ cm}^3)]$ . *Para solos com teor de argila inferior a 20% deve-se substituir o valor 2,0 por 1,2.	Goiás
Neutralização do $Al^{3+}$ trocável e elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ trocáveis	Neutralizar o $Al^{3+}$ e suprir as exigências da planta em $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Y [\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+} - (m_t/100)] + [X - (Ca^{2+}+Mg^{2+})]$ . O valor Y é variável em função da textura do solo, e o valor X é variável em função da exigência da cultura. Y= 1 para solos arenosos (<15% de argila); Y= 2 para solos com textura média (15 a 35% de argila) e Y= 3 para solos argilosos (>35% de argila). $m_t$ = Máxima saturação por $Al^{3+}$ tolerada pela cultura e X= 1 para a cultura do eucalipto por exemplo; X= 2 para a maioria das culturas e X= 3 para a cultura do café por exemplo.	Minas Gerais
Neutralização do $Al^{3+}$ trocável	Reduzir ou Neutralizar o $Al^{3+}$ trocável do solo	$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3 \times f$ . A variável f é alterada de acordo com as exigências da cultura, a textura do solo, o teor de matéria orgânica, podendo variar entre 1,5; 2,0 e 3,0.	Pernambuco ( $Al^{3+}$ )
Da elevação dos teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ trocáveis	Suprir as exigências da planta em $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} \times f$ ; ou $(2 - \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Ca^{2+}+Mg^{2+} \text{ dm}^{-3}) \times f$ . Onde f = 1,5; 2,0 e 2,5 para solos com teores de argila <15; 15 a 35 e >35%. Devendo-se utilizar o maior valor de NC obtido a partir dessas duas fórmulas para o Estado de Pernambuco.	Pernambuco ( $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ )
Saturação por bases (V)	Atingir um valor definido da saturação por bases (V) a partir da calagem	Para arroz de sequeiro e irrigado usa-se no Paraná a seguinte fórmula: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3} Al^{3+}/100 \text{ cm}^3 \times 2,0$ e para as demais culturas implantadas nos dois Estados, usa-se: $NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = T(V_2 - V_1)/100 \times f$ .	São Paulo, Paraná

**Tabela 3** – Necessidades de calagem em ( $t\ ha^{-1}\ CaCO_3$ ) de acordo com alguns métodos em uso no Brasil para algumas localidades que estão sendo usados. As necessidades de calagem foram feitas para o ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa, ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A Moderado e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média

Solos	Necessidade de Calagem ( $t\ ha^{-1}\ CaCO_3$ )							
	Cerrado	Curva	Espírito Santo	Goiás	Minas Gerais	Pernambuco ( $Al^{3+}$ )	Pernambuco ( $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ )	São Paulo
Argissolo	1,57	2,75	1,57	1,57	1,57	2,10	3,50	2,64
Espodossolo	1,20	3,50	1,22	0,42	1,22	2,40	2,50	4,04
Latossolo	1,67	2,50	1,67	1,67	1,67	1,80	3,80	2,70

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calagem afetou significativamente os teores de  $Al^{3+}$ ,  $H+Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  e também o pH, nos diferentes solos estudados e nas diferentes doses aplicadas (Tabela 4). Estes resultados são explicados pelo fato de serem estas as principais características que variam quando se procede a calagem.

**Tabela 4** - Probabilidade de diferença significativa para cada variável, em função das fontes de variação estudadas: Solo (S), Dose (D) e interação Solo X Dose (S X D). Coeficiente de variação (CV)

	${}^1\text{Al}^{3+}$	H+ $\text{Al}^{3+}$	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	P	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	CO	CTC	V	S
	Pr > F												
Solo (S)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dose (D)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65	0,38	0,30	0,13	0,97	0,04	0,08	0,00
(S X D)	0,00	0,67	0,05	0,01	0,00	0,97	0,96	0,38	0,81	0,99	0,13	0,38	0,47
CV	6	12	4	53	21	79	176	34	20	20	11	32	6

${}^1\text{Al}^{3+}$  – Alumínio; H+ $\text{Al}^{3+}$  – Hidrogênio e Alumínio; pH – pH do solo em água (1: 2,5);  $\text{Ca}^{2+}$  – Cálcio trocável;  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis;  $\text{Mg}^{2+}$  – Magnésio trocável; P – Fósforo disponível;  $\text{K}^+$  – Potássio trocável;  $\text{Na}^+$  – Sódio trocável; CO – Carbono Orgânico; CTC – Capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases e S – soma de bases. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

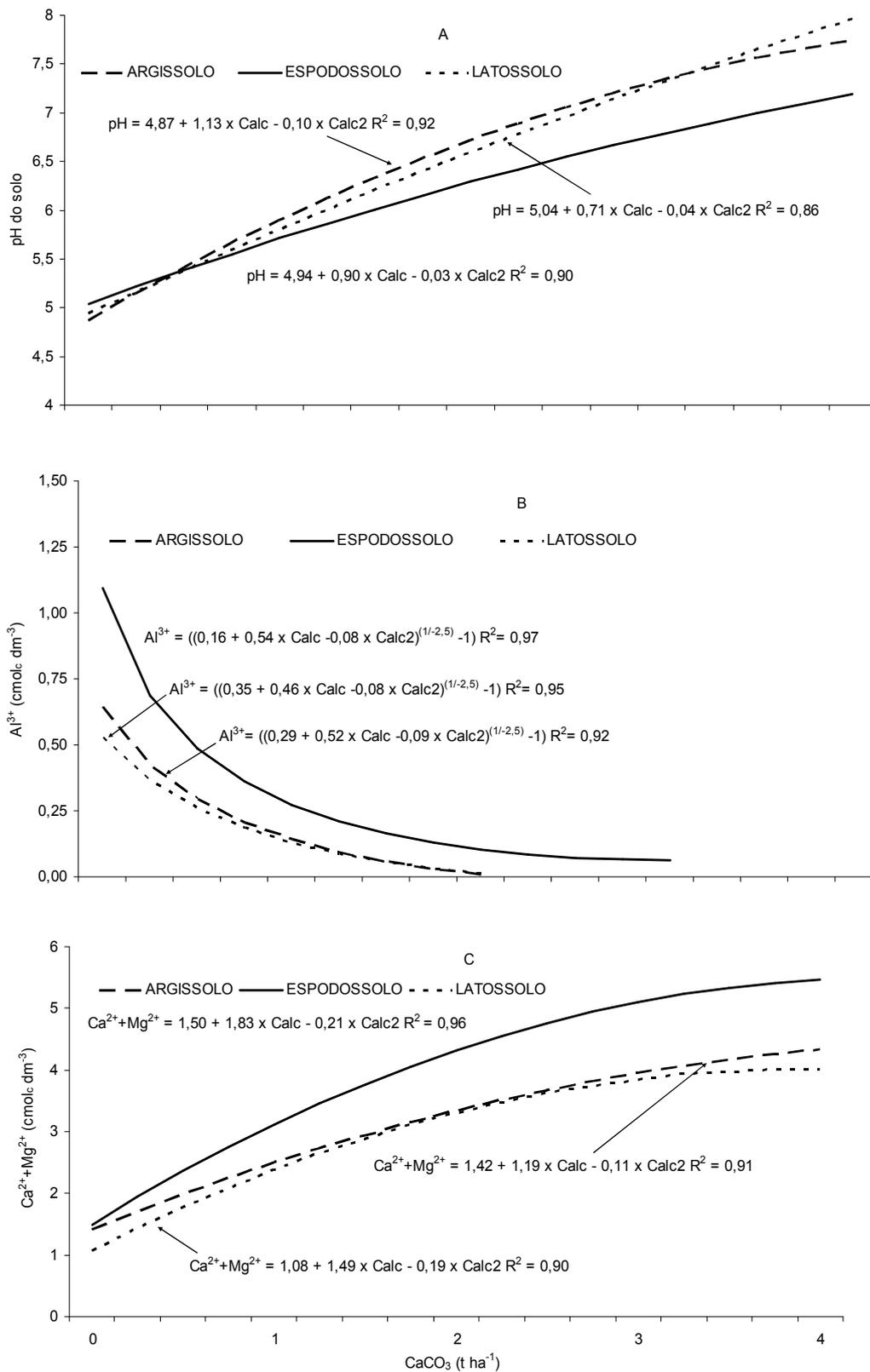
Os teores de P nos solos não diferiram quanto à aplicação de doses de  $\text{CaCO}_3$  ( $P < 0,05$ ) (Tabela 4). Estes resultados não estão de acordo com os relatos de que diminui a solubilidade do  $\text{Al}^{3+}$  e Fe, aumentando por isso, a concentração de P disponível na solução do solo (Ernani et al., 1996; Ernani et al., 2000). Tais resultados podem ser explicados pela baixa concentração inicial de P nos solos estudados (Tabela 1). Assim, acredita-se que, apesar de o  $\text{Al}^{3+}$  exercer forte influência sobre a disponibilidade de P, o principal fator que contribuiu para não ter havido diferenças significativas entre as doses de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas, não foi a presença de  $\text{Al}^{3+}$ , mas sim, possivelmente, a baixa concentração inicial de P no solo estudado ou também pelo fato do extrator Melich<sup>-1</sup> ser ácido, o que pode ter influenciado os resultados de P.

Houve acréscimo significativo do pH em função da aplicação de  $\text{CaCO}_3$  nos três solos. O Latossolo atingiu o maior valor de pH e o Espodossolo, o menor (Figura 1-A). No entanto, a reação de mudança de pH para o Espodossolo foi menor comparada aos demais solos (Figura 1-A), presumivelmente devido a maior quantidade de matéria orgânica  $12,30 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 1) e conseqüente maior poder tampão.

O  $\text{Al}^{3+}$  foi neutralizado nos três solos estudados (Figura 1-B), porém, com aplicações de diferentes doses de  $\text{CaCO}_3$ , sendo  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  suficientes para neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  no Argissolo e no Latossolo e  $3 \text{ t ha}^{-1}$  para o Espodossolo. Isso provavelmente se deve ao teor de  $\text{Al}^{3+}$  inicialmente mais elevado, combinado com o poder tampão decorrente da maior quantidade de matéria orgânica presente no

Espodossolo. Estes resultados concordam com Prado (2003) ao afirmar que a calagem leva à diminuição da concentração de  $Al^{3+}$  do solo.

Houve acréscimo significativo nos teores de  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  nos solos estudados em função da aplicação de  $CaCO_3$ . O Espodossolo atingiu o maior teor de  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  e o Latossolo o menor valor (Figura 1-C). O acréscimo dos teores de  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  nos solos estudados indica o efeito da calagem sobre a disponibilidade destes nutrientes (Tabela 5).



**Figura 1 (A, B, C)** – Curvas referentes a solos típicos da Zona da Mata de Pernambuco - ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa, ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A Moderado e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média. Os resultados do pH do solo,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  foram obtidos aos 56 dias após a incubação destes solos com  $\text{CaCO}_3$  em doses crescentes de 0; 1; 2; 3 e 4 t  $\text{ha}^{-1}$ .

**Tabela 5** – Característica química do ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa, ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A Moderado e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média aos 56 dias após a aplicação de doses equivalentes a 0; 1; 2; 3 e 4 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>

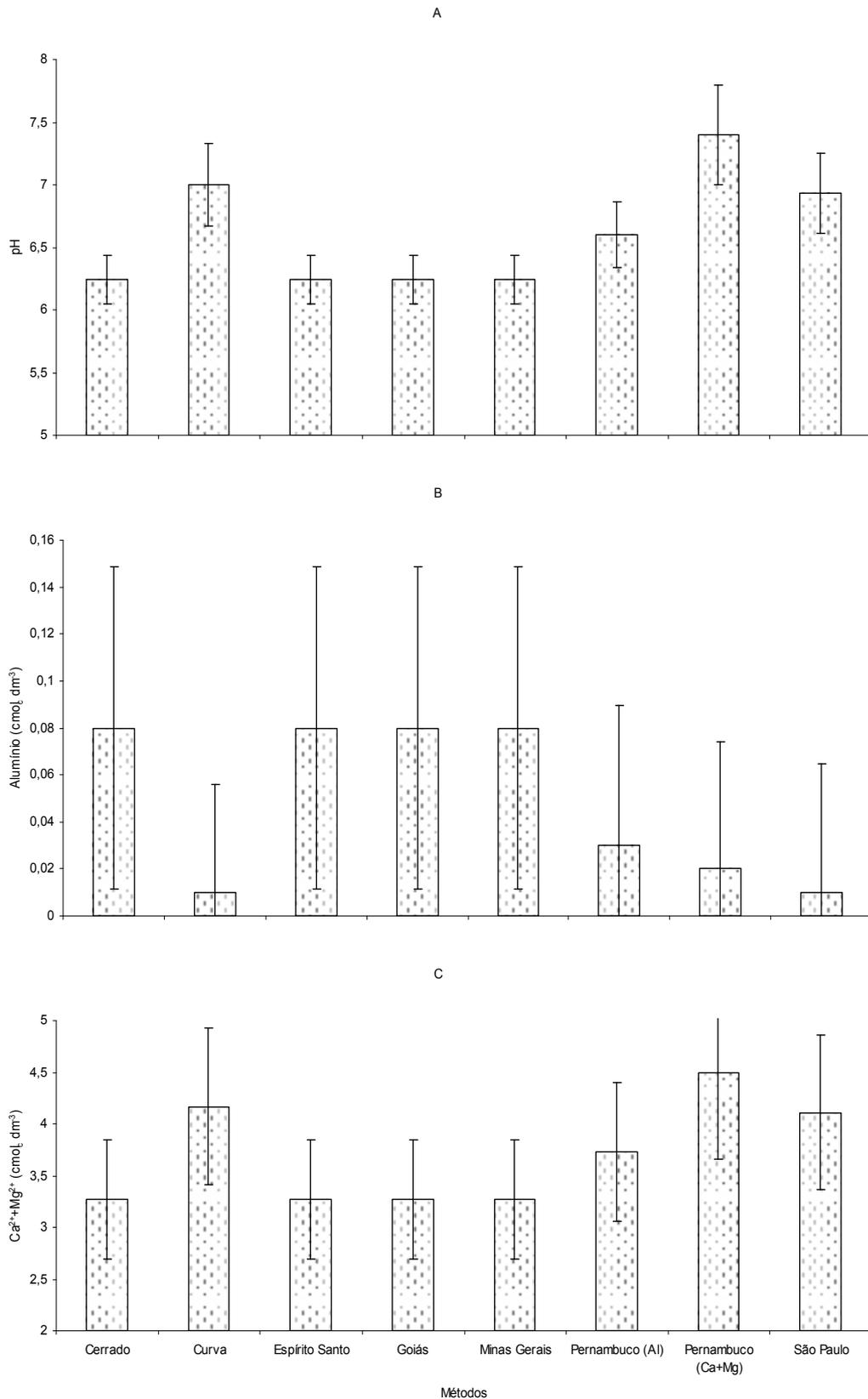
ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa					
	Doses de CaCO <sub>3</sub> (t ha <sup>-1</sup> )				
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
pH	5,01	5,77	6,66	7,16	7,58
CO	9,02	9,97	8,15	10,19	8,98
MO	15,55	17,19	14,05	17,57	15,48
Al <sup>3+</sup>	0,68	0,07	0,02	0,01	0,00
H+ Al <sup>3+</sup>	5,45	4,24	3,19	2,75	2,55
Ca <sup>2+</sup>	0,96	1,78	2,14	3,30	4,06
Mg <sup>2+</sup>	0,40	0,92	0,62	0,81	0,54
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	1,36	2,70	2,76	4,11	4,60
K <sup>+</sup>	0,10	0,05	0,06	0,07	0,07
Na <sup>+</sup>	0,08	0,05	0,05	0,06	0,05
P	1,61	1,43	1,37	2,20	1,88
ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico, A Moderado					
	Doses de CaCO <sub>3</sub> (t ha <sup>-1</sup> )				
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
pH	4,92	5,53	6,30	6,78	7,07
CO	10,79	13,22	13,82	8,85	11,08
MO	18,60	22,80	23,82	15,26	20,48
Al <sup>3+</sup>	0,87	0,22	0,02	0,07	0,00
H+ Al <sup>3+</sup>	5,57	4,70	3,78	3,08	2,78
Ca <sup>2+</sup>	0,69	2,09	3,50	4,09	4,94
Mg <sup>2+</sup>	0,85	0,97	1,19	1,06	0,46
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	1,54	3,06	4,69	5,15	5,40
K <sup>+</sup>	0,10	0,09	0,11	0,12	0,08
Na <sup>+</sup>	0,22	0,20	0,18	0,26	0,20
P	2,32	1,95	2,63	2,46	2,78
LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média					
	Doses de CaCO <sub>3</sub> (t ha <sup>-1</sup> )				
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
pH	4,89	5,82	6,66	7,35	7,81
CO	6,95	6,87	7,43	6,73	7,92
MO	11,98	11,85	12,80	11,60	13,65
Al <sup>3+</sup>	0,42	0,07	0,01	0,00	0,00
H+ Al <sup>3+</sup>	4,78	3,64	2,92	2,76	2,28
Ca <sup>2+</sup>	0,32	1,44	2,48	3,04	3,69
Mg <sup>2+</sup>	0,69	1,10	0,75	0,75	0,37
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	1,01	2,54	3,23	3,79	4,06
K <sup>+</sup>	0,12	0,11	0,10	10,00	0,10
Na <sup>+</sup>	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
P	4,25	2,57	2,77	3,70	3,00

Os métodos de necessidade de calagem utilizados nos Estados de São Paulo e Pernambuco ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) apresentaram os melhores resultados para os valores de pH, pois seus valores se aproximaram aos estimados pela curva de calibração para correção que atingiu pH 7,0. No entanto, os demais métodos também se mostraram apropriados, uma vez que os valores de pH obtidos com estes métodos estiveram dentro da faixa adequada para a maioria das culturas como o cafeeiro, a bananeira, o milho (Figura 2-A), conforme indicada por Siqueira et al (1989).

Quanto ao  $\text{Al}^{3+}$ , não houve diferença significativa entre os métodos avaliados, em função da aplicação de  $\text{CaCO}_3$  nos três solos estudados (Figura 2-B). Estes resultados corroboram os obtidos por Sfredo et al (1996) que conseguiram neutralizar o alumínio com  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário em um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico de Balsas (MA). O método da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  utilizado em Pernambuco proporcionou uma forte redução deste elemento no solo, enquanto os demais métodos mantiveram a concentração do  $\text{Al}^{3+}$  em  $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Os maiores valores de necessidade de calagem obtidos pelos métodos utilizados nos Estados de Pernambuco e São Paulo resultaram em maiores estimativas referentes ao  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  (Figura 2-C), embora sem diferença significativa com os demais métodos.

Não é possível afirmar que existe um melhor método de necessidade, mesmo porque, o método mais exato, o da curva de calibração, é inviável em termos práticos. O método de saturação por bases, utilizado no Estado de Goiás apresentou resultado de pH ideal para o estabelecimento normal das culturas, mesmo por que não é necessário que o pH do solo atinja um valor próximo de 7,0 para ser considerado ideal. É necessário também levar em consideração a tolerância da planta a condições ácidas.



**Figura 2 (A, B, C)** – Comportamento da acidez do solo em função de diferentes métodos de necessidade de calagem em uso no Brasil. Os dados representam valores médios de três solos (ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, Distrófico, TB, A Moderado, Textura Média/Argilosa, ESPODOSSOLO, Álico, Hidromórfico e LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média) típicos da Zona da Mata de Pernambuco. A - pH do solo, B - Alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e C – Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). As barras indicam os intervalos de confiança em torno da média com 95% de confiança.

## **CONCLUSÕES**

Independente das variações apresentadas nos diferentes métodos de necessidade de calagem, o método que visa suprir  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  utilizado no Estado de Pernambuco e o método da saturação por bases utilizado no Estado de São Paulo, proporcionaram maiores valores de pH.

A metodologia de análise de variância baseada em estimativas derivadas por regressão adotada nesta pesquisa apresentou potencial para uso na comparação de diferentes métodos de necessidade de calagem.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao “Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE”, a “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior” (CAPES), a “Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas” (FAPEAL) e ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq).

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 1999. 359 p.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.1029-1040, 2001.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 1998. 198p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p.

ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.20, p.159-162, 1996.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influencia da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.24, p.537-544, 2000.

FULLIN, E.A. Acidez do solo e calagem. In: DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de Necessidade de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEEA/INCAPER, p.70-98. 2001.

GRAHAM, P.H. Stress tolerance in *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and nodulation under adverse soil conditions. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.38, p. 475-484, 1992.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1990, 15 p.

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

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1201-1207, 1982.

PAIVA, P.J.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.20, p.71-75, 1996.

SAS INSTITUTE. **The SAS system for windows**. Estados Unidos, 1999. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E. TASSANARI, G. ANGHINONI, A.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P.; ERNANI, P. R. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1989, 128p.

SFREDO, G.J.; PALUDZYSZYN, E.; GOMES, E.R.; OLIVEIRA, C.N. Resposta da soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.429-432, 1996.

## **CAPÍTULO II**

---

### **SIMBIOSE RIZÓBIO-FEIJOEIRO EM SOLO ÁCIDO**

## SIMBIOSE RIZÓBIO-FEIJOEIRO EM SOLO ÁCIDO<sup>1</sup>

Campanharo, M.<sup>2</sup>; Lira Junior, M. A.<sup>3</sup>; Freire, F. J.<sup>3</sup>; Stamford, N. P.<sup>3</sup>; Nascimento, C. W. A.; Costa, J. V. T.<sup>4</sup>; Silva, F. A. A.<sup>5</sup>; Sousa, C. A.<sup>6</sup>

### RESUMO

Foi realizado um experimento em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa em diferentes pH do solo na presença e ausência da inoculação com *Rhizobium tropici* II B estirpe CIAT 899. Foi utilizado um LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média, coletado em profundidade de 0,0 a 0,3m. Foram preparadas amostras contendo 5 kg de solo em sacos plásticos que receberam 3g de inoculante turfoso com pelo menos  $10^7$  células viáveis  $g^{-1}$  de solo da estirpe CIAT 899 de *Rhizobium tropici* II B incubadas durante trinta dias. Parte deste solo foi umedecido juntamente com o inoculante, outra parte dele recebeu doses de  $CaCO_3$  e  $MgO$  na relação (3:1) para elevar o pH a diferentes valores e outra parte deste solo recebeu ácido acético glacial a fim de baixar o pH para 4,0. Antes da semeadura as sementes foram desinfetadas e inoculadas com 1 mL de cultura líquida de *Rhizobium tropici* II B  $10^7$  UFC  $mL^{-1}$ , enquanto o remanescente não recebeu nova inoculação. Foi realizada caracterização química do solo a cada vaso, e determinadas biomassa seca da parte aérea, do sistema radicular e dos nódulos, número e tamanho dos nódulos, avaliados aos 21, 42 e 56 dias após semeadura. Foram realizadas análises de correlação linear entre características do solo, da planta e da nodulação a cada idade de colheita da planta. Resultados indicaram que no estágio inicial de desenvolvimento, o feijoeiro foi mais afetado pela acidez. A estirpe de rizóbio inoculada neste solo 30 dias antes do plantio conseguiu sobreviver e nodular as raízes do feijoeiro.

---

<sup>1</sup>Trabalho apresentado como parte da dissertação do primeiro autor junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE. Trabalho financiado por bolsa de Mestrado e auxílio de custo pela CAPES através do Programa PROF/UFRPE

<sup>2</sup>Engenheira Agrônoma, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da UFRPE. [marcelaufupe@yahoo.com.br](mailto:marcelaufupe@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Professor Adjunto da UFRPE. (Autor para contato. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Av. Dom Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900. [mliraj@ufrpe.br](mailto:mliraj@ufrpe.br))

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRPE. [jvtcnovo@hotmail.com](mailto:jvtcnovo@hotmail.com)

<sup>5</sup>Discentes do curso de Agronomia da UFRPE.

**Palavras-chave:** Fixação biológica de nitrogênio, *Rhizobium tropici*, nodulação, *Phaseolus vulgaris*, pH.

## ABSTRACT

A greenhouse experiment was conducted at Universidade Federal Rural de Pernambuco to evaluate the symbiosis between common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa and *Rhizobium tropici* strain CIAT 899 in acid soil. A loamy alic latossol, and collected at 0.00-0.30 cm depth. Five quilogram samples were prepared in plastic bags, and incubated for thirty days after receiving five grams of peat based inoculant with at least  $10^7$  rhizobial cells per gram of *Rhizobium tropici* strains BR 322 e CIAT 899. Part of the soil received water, other part different levels of  $\text{CaCO}_3$  and MgO (3:1) to increase pH to different levels and finally part of the soil was acidified with acetic acid. Part of the plants was inoculated again at bean transplanting, while the remainder did not receive a second inoculation. Each pot had its soil fertility determined, and aerial part, root system and nodule dry matter, nodule number and size were determined 14, 42 and 56 days after transplanting. Linear correlation analysis was conducted between soil, plant and nodulation characteristics at each harvest age. Results indicate a stronger effect of soil acidity at early stages, but that the effects persist throughout the life cycle. Rhizobia inoculated on the soil 30 days before the experiment survived and nodulated bean roots.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris*, biological nitrogen fixation, *Rhizobium tropici*, Yelow Latossol.

## INTRODUÇÃO

As leguminosas constituem uma das mais importantes famílias de plantas para a agricultura (Vance et al., 1988), sendo uma das principais fontes de alimento para consumo humano, em especial nas zonas tropicais em desenvolvimento (Graham & Vance, 2000).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sendo a região Nordeste responsável por cerca de 28% da produção brasileira (Agriannual, 2005). No entanto, esta cultura apresenta sensibilidade a condições ácidas no solo, presentes na maioria dos solos brasileiros (Hungria & Vargas, 2000, Bala et al., 2003). O feijoeiro exige pH numa faixa que varia entre 5,5 a 6,8. Desse modo, a

calagem é uma prática indispensável para viabilizar o cultivo dessa leguminosa em solos ácidos (Hungria & Vargas, 2000; Martins et al., 2003).

Solos ácidos reduzem o desenvolvimento do feijoeiro e de outras culturas basicamente por redução na disponibilidade de nutrientes, ou por toxidez de  $Al^{3+}$  e Mn (Ribeiro Júnior et al., 1987; Miguel & Moreira, 2001). Em pH menor que 5,5 os compostos de  $Al^{3+}$  tornam-se solúveis e os íons  $Al^{3+}$  passam a ser reativos, dificultando a absorção e o transporte de diferentes elementos, como o P, o  $K^+$ , o  $Ca^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$  (Malavolta, 1984).

Solos ácidos também afetam a microbiota do solo, em especial os microrganismos diazotróficos, pois limitam sua sobrevivência, persistência e multiplicação, com conseqüente redução na FBN (Howieson et al 1989; Mendes et al., 1994; Slattery et al., 2001; Macció et al., 2002; Bala et al., 2003). Como o solo é um ambiente complexo e heterogêneo, é possível que muitos rizóbios consigam se proteger sob essas condições, associados com a matéria orgânica presente no solo (Richardson et al., 1989).

A acidez do solo é um importante determinante da diversidade genética dos rizóbios e interfere diretamente sobre todos os seus processos vitais (Bala et al., 2003), por tornar o ambiente hostil para estes microrganismos (Souza, 2006) e para as plantas e por ser fator limitante ao aprofundamento do sistema radicular que conseqüentemente explora menor volume de solo (Dal Bó et al., 1986). A bactéria diazotrófica enfrenta dificuldades em sobreviver e se desenvolver em solos ácidos, especialmente pela incapacidade em manter o pH intracelular, a fim de proteger os componentes internos das células (Macció et al., 2002).

Respostas de leguminosas tropicais à calagem têm sido bastante abordadas (Paulino et al., 1994), no entanto, o mecanismo de atuação da acidez sobre a fixação biológica de nitrogênio ainda não é bem conhecido, apesar disso, acredita-se que há maior influência do pH do solo no processo de infecção dos pêlos radiculares (Vargas & Graham, 1989) e formação dos nódulos (Dughri & Bottomley, 1983). Resultados encontrados por Scholles et al (1981) sugerem que a acidez do solo é fator limitante a simbiose rizóbio-leguminosa e se manifesta especialmente sobre a planta, pela limitação nutricional, e diretamente sobre a bactéria fixadora (Brose, 1994), por isso, acredita-se que a correção da acidez do solo possa melhorar o desenvolvimento da planta refletindo-se em maior eficiência desta simbiose.

Para melhor estudar este sistema biológico e sua interação com o meio é de fundamental importância conhecer melhor os nódulos e sua interação com a planta e

o meio (Date, 2000). Bala et al (2003) encontraram correlação altamente significativa entre nodulação de leguminosas arbóreas e pH do solo, quantidade de argila e acidez do solo, bem como significância, porém fraca correlação com bases trocáveis e N total. Dentre as características do solo estudadas por esses pesquisadores e que foram significativamente correlacionadas com o número de rizóbios, somente a acidez e a quantidade de areia apresentaram correlação negativa com nodulação, enquanto as outras variáveis foram positivamente correlacionadas. O uso da correlação é uma ferramenta para o entendimento dos mecanismos de atuação da acidez do solo sobre a nodulação e fixação biológica do nitrogênio.

Diante do exposto foi realizado um experimento com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Princesa em diferentes pH do solo na presença e ausência da inoculação com *Rhizobium tropici* II B estirpe CIAT 899, analisada por método não destrutivo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco - (UFRPE), com temperatura oscilando de 25 a 37°C e umidade relativa do ar, de 40 a 80%. Neste experimento foram utilizados vasos em acrílico transparente medindo 28 cm de altura, 20 cm de largura e 7 cm de profundidade, perfurados no fundo para permitir drenagem e forrados com espuma (D-23) medindo 20x7x1cm, tanto na parte inferior, quanto na parte superior do vaso.

Foi utilizado um LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média, coletado na profundidade de 0 a 30 cm e caracterizado física e quimicamente, conforme métodos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

**Tabela 1** – Características físicas e químicas do LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média típico, solo da Zona da Mata de Pernambuco

Características Físicas		Características Químicas	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	668,0	pH (H <sub>2</sub> O 1: 2,5)	4,8
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	70,0	P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	262,0	K (mg dm <sup>-3</sup> )	54,6
Θm	0,0	Na <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	16,1
AD	8,3	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,6
CA	3,8	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3
DS	1,6	Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,9
DP	2,6	H+Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,4
PO (%)	37,0	CO g kg <sup>-1</sup>	4,2

<sup>1</sup>Quantidades de areia, silte e argila; água disponível na base de biomassa (Θm); água disponível na base de volume Θv (AD); capacidade de aeração (CA); densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP) e porosidade (PO). <sup>2</sup>pH – pH do solo; P – Fósforo disponível; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; Ca<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; CO – Carbono Orgânico. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

Amostras de solo contendo 5 kg foram acondicionadas em sacos plásticos que receberam 3g de inoculante turfoso contendo 10<sup>7</sup> células viáveis g<sup>-1</sup> da estirpe CIAT 899 *Rhizobium tropici* II B, que foram incubadas durante 30 dias. Após o período de incubação, foi efetuada análise padrão de fertilidade deste solo EMBRAPA (1997) a cada amostra, e o solo foi transferido aos vasos, no total 96. Os vasos foram envolvidos com lona plástica dupla face para impedir a proliferação de algas.

De acordo com os tratamentos, os vasos foram saturados com ácido acético glacial ou água corrente. Algumas amostras de solo tiveram o pH corrigido pela adição de doses de CaCO<sub>3</sub> e MgO na relação (3:1). As doses de CaCO<sub>3</sub>, MgO e ácido foram baseadas em resultados previamente obtidos em curva de correção e acidificação (resultados não apresentados). Semanalmente as amostras de solo foram umedecidas e revolvidas para homogeneizar e acelerar o processo de reações.

A cultura utilizada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Princesa (Miranda et al., 2002). As sementes foram desinfetadas superficialmente (Montealegre et al., 1995) e colocadas para pré-germinar em bandejas contendo vermiculita umedecida com água destilada por 24 horas. Foram semeadas duas sementes por vaso, sendo

que parte destes receberam reinoculação com um mL semente<sup>-1</sup> da estirpe CIAT 899 *Rhizobium tropici* II B. A estirpe de rizóbio foi repicada em duplicada para frascos erlenmeyers com meio líquido YM (Manitol, extrato de levedura) e incubadas em agitador rotatório a 28°C por 48 horas. Após este período, o inóculo apresentou 10<sup>7</sup> unidades formadoras de colônias (UFC mL<sup>-1</sup>) (Bangel et al., 2001). Sete dias após a germinação foi feito desbaste deixando apenas uma planta por vaso, sendo o solo em seguida coberto por espuma para reduzir a evaporação e não permitir perda de solo durante as operações de obtenção das imagens.

Foram realizadas irrigações com solução nutritiva de Hoagland sem nitrogênio (Hoagland & Arnon, 1950) diluída dez vezes em água corrente duas vezes ao dia. Dos setes dias até os 56 dias, foram retirados oito vasos de cada repetição a cada 21 dias. Esta colheita foi realizada para obtenção de número de nódulos, tamanho (área, comprimento e diâmetro), conforme (Lira Junior & Smith, 2000) utilizando um digitalizador Scanner Canon Lide 20<sup>®</sup>, biomassa fresca e seca dos nódulos, área foliar, número de folhas, altura da planta, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca do sistema radicular.

Para a obtenção da biomassa seca da parte aérea, do sistema radicular e dos nódulos, estas partes foram separadas e acondicionadas em sacos de papel e levados para secagem em estufa com circulação de ar, a uma temperatura de 65 °C por 72 horas. Em seguida, procedeu-se a determinação da biomassa (g planta<sup>-1</sup>). Determinou-se também o N total da parte aérea (g kg<sup>-1</sup>) pelo método de Kjeldahl (Bremner, 1965).

O experimento foi conduzido utilizando o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. A análise estatística foi conduzida utilizando o “Guided Data Analysis Procedure” do SAS (SAS Institute, 1999) para determinação de eventuais “outliers” e transformações requeridas, seguida por uso do GLM Procedure, também do SAS.

A análise inicial dos resultados indicou que não seria viável utilizar o procedimento de análise de variância para sua interpretação, pelos dados não obedecerem aos pré-requisitos da análise de variância, sem possibilidade de correção adequada. Desta forma foram realizadas correlações lineares entre as diferentes variáveis do solo e características da planta e da nodulação, para permitir a identificação das características de solo ácido que mais afetam plantas inoculadas e não inoculadas de feijão em uma faixa de solo ácido. Foi adotado o nível de significância de 5 % pelo teste t de Student para a correlação linear de Pearson,

sendo considerada a existência de tendência para probabilidades superiores a 5 e inferiores a 15 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores médios de diferentes características do solo em função do pH apresentaram comportamento esperado e estão de acordo com muitos resultados encontrados na literatura (Prado et al., 2004; Roque et al., 2004). As amostras com pH mais elevado apresentaram maior disponibilidade do P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , bem como a redução de  $Al^{3+}$  e  $H+Al^{3+}$  (Tabela 2). Roque et al (2004) encontraram resultados semelhantes, com efeito, significativo entre doses de calcário, em relação ao pH,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , bem como redução no  $H+Al^{3+}$ , o que refletiu em aumento na soma de bases e saturação por bases em profundidades de 0,0 a 0,2 m no solo. Estes resultados confirmam que a aplicação de calcário nos solos tropicais, reduz a concentração de  $Al^{3+}$  e Mn e aumenta da disponibilidade de nutrientes. Além de elevar o pH, os teores de  $Ca^{2+}$  e a saturação de bases trocáveis no solo (Caires et al., 2001; Prado, 2003) e da disponibilidade dos nutrientes dependerem das alterações dos níveis de pH (Lopes et al., 1990).

Valores elevados de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  no solo com menor pH (4,0) (Tabela 2), podem estar relacionados a reações do ácido acético aplicado com o objetivo de baixar o pH, o que pode ter sido influenciado pelo decréscimo da quantidade de carbono orgânico que ocorreu inversamente com o aumento do pH.

**Tabela 2** – Valores médios de diferentes características do solo em função dos níveis de pH desejado em um LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média. Valores após  $\pm$  indicam o intervalo de confiança ao nível de 5 % de probabilidade

	4,00	4,50	5,00	5,50
pH <sup>1</sup>	4,05 $\pm$ 0,03	4,45 $\pm$ 0,11	5,15 $\pm$ 0,15	5,48 $\pm$ 0,41
CO	9,67 $\pm$ 0,5	18,47 $\pm$ 0,31	17,81 $\pm$ 0,2	17,37 $\pm$ 0,3
Al <sup>3+</sup>	10,31 $\pm$ 0,45	1,17 $\pm$ 0,09	0,28 $\pm$ 0,09	0,39 $\pm$ 0,75
H+ Al <sup>3+</sup>	10,36 $\pm$ 0,13	6,75 $\pm$ 0,19	5,35 $\pm$ 0,28	4,37 $\pm$ 0,16
Ca <sup>2+</sup>	3,16 $\pm$ 0,24	1,13 $\pm$ 0,08	2,58 $\pm$ 0,36	2,95 $\pm$ 0,28
Mg <sup>2+</sup>	1,06 $\pm$ 0,21	0,62 $\pm$ 0,15	1,19 $\pm$ 0,17	1,14 $\pm$ 0,14
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	4,23 $\pm$ 0,24	1,75 $\pm$ 0,12	3,77 $\pm$ 0,48	4,09 $\pm$ 0,36
K	0,16 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,02	0,24 $\pm$ 0,04	0,38 $\pm$ 0,27
Na <sup>+</sup>	0,07 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,01	0,79 $\pm$ 1,39
P	0,16 $\pm$ 0,02	13,07 $\pm$ 0,99	15,98 $\pm$ 2,75	15,58 $\pm$ 2,12

<sup>1</sup>pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

O pH do solo apresentou correlação significativa para carbono orgânico,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e P do solo, e conclusões inversas aconteceram com a presença de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H+Al}^{3+}$  (Tabela 3). Estes resultados estão de acordo os encontrados na literatura (Dal Bó et al.; 1986; Lopes et al., 1990; Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco, 1998; Alvarez & Ribeiro, 1999; Fulin, 2001; Caires et al., 2002; Prado, 2003) em que o aumento de pH do solo próximo da neutralidade torna disponíveis os nutrientes às plantas.

**Tabela 3** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características do LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5

		pH	CO	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H+Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K	$\text{Na}^+$	P
pH <sup>1</sup>	r		0,7333	-0,8356	-0,9228	-0,0157	0,3341	0,0490	0,6227	0,4810	0,7785
	P(r=0) <sup>2</sup>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,8614	<b>0,0001</b>	0,5860	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
CO	r	0,7333		-0,9419	-0,8702	-0,5165	-0,1079	-0,4687	0,4006	0,0437	0,9018
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,2291	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,6271	<b>&lt;0,0001</b>
$\text{Al}^{3+}$	r	-0,8356	-0,9419		0,9695	0,4200	0,0587	0,3879	-0,4182	-0,1246	-0,8260
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,5135	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,1643	<b>&lt;0,0001</b>
$\text{H+Al}^{3+}$	r	-0,9228	-0,8702	0,9695		0,2807	-0,0796	0,2405	-0,5160	-0,2711	-0,8005
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>		<b>0,0015</b>	0,3755	<b>0,0067</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0021</b>	<b>&lt;0,0001</b>
$\text{Ca}^{2+}$	r	-0,0157	-0,5165	0,4200	0,2807		0,5068	0,9660	0,2570	0,4853	-0,3195
	P (r=0)	0,8614	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0015</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0037</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0003</b>
$\text{Mg}^{2+}$	r	0,3341	-0,1079	0,0587	-0,0796	0,5068		0,6914	0,5928	0,6571	0,1927
	P (r=0)	<b>0,0001</b>	0,2291	0,5135	0,3755	<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0306</b>
$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	r	0,0490	-0,4687	0,3879	0,2405	0,9660	0,6914		0,3901	0,5824	-0,2176
	P (r=0)	0,5860	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0067</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0144</b>
K	r	0,6227	0,4006	-0,4182	-0,5160	0,2570	0,5928	0,3901		0,7589	0,6129
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0037</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>		<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
$\text{Na}^+$	r	0,4810	0,0437	-0,1246	-0,2711	0,4853	0,6571	0,5824	0,7589		0,2832
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	0,6271	0,1643	<b>0,0021</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>		<b>0,0013</b>
P	r	0,7785	0,9018	-0,8260	-0,8005	-0,3195	0,1927	-0,2176	0,6129	0,2832	
	P (r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0306</b>	<b>0,0144</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0013</b>	

<sup>1</sup>pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico;  $\text{Al}^{3+}$  – Alumínio;  $\text{H+Al}^{3+}$  – Hidrogênio e Alumínio;  $\text{Ca}^{2+}$  – Cálcio trocável;  $\text{Mg}^{2+}$  – Magnésio trocável;  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis;  $\text{K}^+$  – Potássio trocável;  $\text{Na}^+$  – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

A área foliar, o comprimento de raiz, a biomassa seca da parte aérea, a biomassa seca de raiz e o N total apresentaram correlação significativa negativa com  $Al^{3+}$ . Houve tendência ( $P=0,0854$ ) para o número de nódulos e ( $P=0,1057$ ) para biomassa seca de nódulos influenciada pelo  $H+Al^{3+}$  e ( $P=0,0982$ ) entre o pH do solo e o teor de N nas plantas de feijão (Tabela 4).

O resultado do N total é provavelmente reflexo de aumento na FBN com o aumento do pH do solo. Estes resultados corroboram os encontrados por Scholles et al (1981) ao afirmarem que a aplicação de calcário resultou em incrementos significativos no rendimento de biomassa seca de leguminosas forrageiras e refletiu em simbiose mais eficiente. Ribeiro Júnior et al (1987) observando valores de pH do solo 4,5; 4,9 e 5,4, que poderiam interferir a eficiência e competitividade de estirpes de *Bradyrhizobium* spp para *Enterolobium contortisiliquum* em latossolo ácido, afirmaram que a calagem afetou tanto o número quanto a biomassa seca de nódulos, porém não interferiu o funcionamento dos nódulos.

Houve correlação significativa entre carbono orgânico e área foliar, comprimento de raiz, biomassa seca da parte aérea, e N total e tendência de efeito ( $P=0,0982$ ) para N (Tabela 4). Isto pode ser devido à possível mineralização deste material com conseqüente disponibilização de N às plantas neste estágio de desenvolvimento. O fato de ter ocorrido correlação significativa para N total aos 21 dias mesmo em plantas inoculadas, não significa dizer que todo este nitrogênio foi proveniente da FBN.

O aumento do pH do solo aumentou a área foliar, comprimento da raiz e biomassa seca da parte aérea com correlação significativa para todas estas variáveis, conforme indicado por correlações positivas, enquanto que a diminuição do  $Al^{3+}$  e  $H+Al^{3+}$ , (Tabela 4), proporcionou aumentos nos resultados destas variáveis avaliadas nas plantas com correlação significativa para todas elas. Resultados semelhantes foram encontrados por Dal Bó et al (1986) no que se refere aos aumentos nos teores de  $Ca^{2+}$  e da mesma maneira, da biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas, proporcionados pela calagem.

**Tabela 4** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas reinoculadas, avaliadas aos 21 dias após a semeadura

		pH	CO	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K	Na <sup>+</sup>	P
NN <sup>1</sup>	r	0,3305	0,3145	-0,3760	-0,4434	-0,0320	-0,3744	-0,1813	-0,1769	-0,3719	-0,0118
	P (r=0) <sup>2</sup>	0,2112	0,2354	0,1511	<b>0,0854</b>	0,9064	0,1531	0,5016	0,5123	0,1561	0,9654
MSN	r	0,3077	0,2939	-0,3584	-0,4196	-0,0047	-0,3148	-0,1332	-0,1529	-0,3273	-0,0197
	P (r=0)	0,2463	0,2692	0,1728	<b>0,1057</b>	0,9864	0,2350	0,6228	0,5718	0,2159	0,9422
NA	r	0,0306	-0,1784	-0,4676	-0,3695	0,2177	0,0122	0,1512	0,0176	0,1254	-0,4992
	P (r=0)	0,9481	0,7020	0,2901	0,4147	0,6391	0,9793	0,7462	0,9702	0,7888	0,2540
CN	r	0,2183	-0,1207	-0,5945	-0,5389	0,4142	-0,3675	0,0965	-0,4251	-0,4673	-0,8317
	P (r=0)	0,6381	0,7966	0,1592	0,2120	0,3555	0,4174	0,8370	0,3417	0,2904	<b>0,0203</b>
DN	r	0,2352	-0,1858	-0,6305	-0,5697	0,4785	-0,2972	0,1739	-0,3569	-0,4192	-0,7870
	P (r=0)	0,6117	0,6900	<b>0,1291</b>	0,1819	0,2773	0,5175	0,7093	0,4320	0,3492	<b>0,0357</b>
AF	r	0,7431	0,7585	-0,8078	-0,8256	-0,4059	0,1118	-0,3047	0,5102	-0,0418	0,8182
	P (r=0)	<b>0,0010</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0002</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,1187</b>	0,6803	0,2511	<b>0,0435</b>	0,8780	<b>0,0001</b>
CR	r	0,7245	0,7062	-0,7562	-0,7318	-0,5129	0,2365	-0,3459	0,5615	0,0713	0,7985
	P (r=0)	<b>0,0015</b>	<b>0,0022</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0422</b>	0,3778	0,1894	<b>0,0236</b>	0,7931	<b>0,0002</b>
MSPA	r	0,7050	0,7878	-0,8237	-0,8332	-0,4520	0,0297	-0,3782	0,4199	-0,0454	0,8083
	P (r=0)	<b>0,0023</b>	<b>0,0003</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0788</b>	0,9132	<b>0,1486</b>	<b>0,1054</b>	0,8675	<b>0,0002</b>
MSR	r	0,3633	0,4516	-0,5087	-0,5073	-0,0924	-0,0617	-0,1052	0,3275	0,0545	0,6014
	P (r=0)	0,1666	<b>0,0791</b>	<b>0,0442</b>	<b>0,0449</b>	0,7336	0,8203	0,6983	0,2156	0,8412	<b>0,0137</b>
N	r	0,4280	0,3933	-0,4935	-0,5288	-0,0301	0,0813	0,0074	0,3282	-0,1476	0,3600
	P (r=0)	<b>0,0982</b>	<b>0,1318</b>	<b>0,0521</b>	<b>0,0352</b>	0,9118	0,7648	0,9785	0,2146	0,5854	0,1708
NT	r	0,5437	0,4488	-0,5441	-0,6020	-0,0283	0,1977	0,0567	0,5243	-0,0230	0,5303
	P (r=0)	<b>0,0295</b>	<b>0,0812</b>	<b>0,0294</b>	<b>0,0136</b>	0,9172	0,4630	0,8347	<b>0,0371</b>	0,9327	<b>0,0346</b>

<sup>1</sup>pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

A biomassa seca de nódulos influenciou o teor de N e N total em plantas de feijão reinoculadas, avaliadas aos 21 dias após semeadura com uma tendência de efeito ( $P=0,1130$  e  $P=0,1131$ ) respectivamente (Tabela 5). Houve também tendência de efeito ( $P=0,1297$ ) para a área de nódulos que influenciou o N total.

**Tabela 5** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação para plantas reinoculadas, avaliadas aos 21 dias após a semeadura

		AF	CR	MSPA	MSR	N	NT
NN <sup>1</sup>	r	0,3340	0,0773	0,3396	0,3408	0,3550	0,3459
	P (r=0) <sup>2</sup>	0,2061	0,7761	0,1982	0,1965	0,1773	0,1895
MSN	r	0,3125	0,0907	0,3380	0,3383	0,4118	0,3953
	P (r=0)	0,2387	0,7385	0,2005	0,2000	<b>0,1130</b>	<b>0,1297</b>
AN	r	0,0116	-0,2529	0,1520	0,1055	0,6512	0,3857
	P (r=0)	0,9802	0,5843	0,7449	0,8219	<b>0,1131</b>	0,3928
CN	r	0,0439	-0,4372	0,1713	0,0581	0,3335	0,2061
	P (r=0)	0,9255	0,3266	0,7134	0,9016	0,4649	0,6575
DN	r	0,0839	-0,4181	0,2281	0,1226	0,4570	0,3189
	P (r=0)	0,8581	0,3506	0,6227	0,7934	0,3026	0,4857

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total. <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

As plantas reinoculadas, avaliadas aos 42 dias após a semeadura não apresentaram nódulos, porém os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  correlacionaram-se de forma significativa e positiva com a área foliar das plantas neste estágio de desenvolvimento (Tabela 6). A área foliar e a biomassa seca da parte aérea foram influenciadas pelo  $\text{Mg}^{2+}$  com correlação significativa e tendência de efeito ( $P=0,0517$ ) para comprimento radicular e ( $P=0,0689$ ) para biomassa seca de raiz (Tabela 6). A área foliar, biomassa seca da parte aérea e a biomassa seca da raiz foram influenciadas pelo teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  no solo com correlação significativa (Tabela 6). A calagem proporciona um aumento do  $\text{CO}_2$  no sistema radicular, aumenta a nodulação pela maior eficiência da fixação do  $\text{N}_2$ . O aumento do  $\text{CO}_2$  favorece a fotossíntese e conseqüentemente a FBN.

Resultados semelhantes foram obtidos por Dal Bó et al (1986) que indicaram efeito positivo da calagem no desenvolvimento da biomassa radicular da cana-de-açúcar. Macció et al (2002) também afirmaram a importância do  $\text{Ca}^{2+}$  para rizóbios expostos a baixo pH pelo fato deste nutriente estar envolvido em diferentes processos celulares destas bactérias, por manter o pH citoplasmático e por promover rigidez do tecido vegetal e estabilizar complexos protéicos nos nódulos das raízes de leguminosas. A presença do  $\text{Ca}^{2+}$  é importante do início ao final do ciclo da cultura do feijoeiro, pelo seu importante papel na formação de tecidos vegetais e também na garantia de persistência das populações rizobianas e na dinâmica de formação de nódulos.

Os resultados de área foliar, comprimento de raiz, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz apresentaram correlação significativa e tendência de efeito ( $P=0,0650$ ) para biomassa seca de nódulos em função do pH do solo em plantas de feijão reinoculadas, avaliadas aos 42 dias (Tabela 6).

A biomassa seca da parte aérea, comprimento da raiz e biomassa seca da parte aérea foram influenciados pelos resultados de  $\text{H}+\text{Al}^{3+}$  com correlação significativa e tendência de efeito para área foliar ( $P=0,1169$ ), biomassa seca de nódulos ( $P=0,1442$ ) e número de nódulos ( $P=0,0744$ ). O comprimento e a biomassa seca da raiz também foram significativamente correlacionados com o  $\text{Al}^{3+}$ , de forma negativa e com tendência de efeito ( $P=0,0880$ ) para biomassa seca da parte aérea. Estes resultados apresentaram efeitos mais importantes para o desenvolvimento das plantas do que para a nodulação, apesar de Macció et al (2002) e Souza (2006) afirmarem que a acidez do solo é mais limitante ao crescimento dos rizóbios em condições normais.

**Tabela 6** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas reinoculadas, avaliadas aos 42 dias após a semeadura

		pH	CO	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K	Na <sup>+</sup>	P
NN <sup>1</sup>	r	0,4023	0,0652	-0,2854	-0,4913	0,1671	0,3666	0,2361	0,6240	0,3540	0,0697
	P (r=0) <sup>2</sup>	0,1539	0,8249	0,3226	<b>0,0744</b>	0,5681	0,1973	0,4165	<b>0,0171</b>	0,2144	0,8130
MSN	r	0,5059	0,1143	-0,2815	-0,4112	0,1588	0,1813	0,1761	0,3152	0,3187	0,1803
	P (r=0)	<b>0,0650</b>	0,6971	0,3295	<b>0,1442</b>	0,5876	0,5352	0,5471	0,2723	0,2667	0,5373
AN	r	-0,4987	-0,5687	0,1549	-0,0529	-0,1527	0,0730	-0,0830	0,2593	-0,1509	-0,4619
	P (r=0)	0,3139	0,2390	0,7695	0,9208	0,7728	0,8908	0,8757	0,6197	0,7753	0,3564
CN	r	-0,4330	-0,4194	0,2585	-0,0077	-0,3378	-0,0414	-0,2489	0,3061	-0,2016	-0,5232
	P (r=0)	0,3911	0,4078	0,6209	0,9884	0,5126	0,9380	0,6343	0,5553	0,7017	0,2868
DN	r	-0,5395	-0,5398	0,2984	0,0621	-0,3826	-0,1161	-0,3042	0,2080	-0,2665	-0,6635
	P (r=0)	0,2692	0,2690	0,5656	0,9070	0,4542	0,8266	0,5578	0,6925	0,6097	0,1508
AF	r	0,7231	-0,0630	-0,1660	-0,4383	0,7536	0,6420	0,7723	0,4561	0,6284	0,5388
	P (r=0)	<b>0,0035</b>	0,8306	0,5707	<b>0,1169</b>	<b>0,0019</b>	<b>0,0133</b>	<b>0,0012</b>	<b>0,1012</b>	<b>0,0161</b>	<b>0,0468</b>
CR	r	0,5383	0,6102	-0,7962	-0,8278	0,0167	0,5291	0,1660	0,5856	0,2152	0,4346
	P (r=0)	<b>0,0470</b>	<b>0,0205</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0003</b>	0,9549	<b>0,0517</b>	0,5706	<b>0,0278</b>	0,4599	<b>0,1204</b>
MSPA	r	0,7648	0,2520	-0,4725	-0,6359	0,5716	0,6378	0,6294	0,4677	0,4719	0,6331
	P (r=0)	<b>0,0014</b>	0,3848	<b>0,0880</b>	<b>0,0145</b>	<b>0,0327</b>	<b>0,0141</b>	<b>0,0159</b>	<b>0,0917</b>	<b>0,0885</b>	<b>0,0151</b>
MSR	r	0,8217	0,3588	-0,6262	-0,7699	0,5482	0,4996	0,5712	0,3825	0,4189	0,7957
	P (r=0)	<b>0,0003</b>	0,2078	<b>0,0166</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0424</b>	<b>0,0689</b>	<b>0,0329</b>	0,1771	<b>0,1360</b>	<b>0,0007</b>
N	r	-0,1874	0,1231	-0,0297	0,0878	-0,3388	0,0247	-0,2566	-0,1722	-0,2806	-0,1101
	P (r=0)	0,5212	0,6750	0,9198	0,7654	0,2360	0,9331	0,3759	0,5561	0,3312	0,7078
NT	r	-0,0673	0,1568	-0,1179	-0,0292	-0,2394	0,1723	-0,1365	-0,0843	-0,1883	-0,0873
	P (r=0)	0,8193	0,5924	0,6881	0,9212	0,4098	0,5558	0,6418	0,7744	0,5192	0,7666

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total; pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+ Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Houve tendência de efeito ( $P=0,0631$ ) para número de nódulos influenciando o comprimento da raiz em plantas reinoculadas, avaliadas aos 42 dias após a semeadura (Tabela 7).

O comprimento e diâmetro dos nódulos apresentaram correlação significativa positiva com a biomassa seca da raiz (Tabela 7). Este resultado pode ser explicado possivelmente por que a partir do momento que a planta forma nódulos, pode ocorrer uma redução no crescimento radicular pela disponibilidade de N fixado biologicamente, não havendo necessidade de maior exploração de solo pelas raízes.

Houve tendência de efeito da área de nódulos ( $P=0,1204$ ) e diâmetro de nódulos ( $P=0,1246$ ) influenciando no teor de N em plantas reinoculadas, avaliadas aos 42 dias após semeadura, sendo que o número, a biomassa seca e o tamanho dos nódulos não influenciaram a quantidade de N acumulada na planta (Tabela 7). A capacidade de nodulação e a capacidade de fixar o N atmosférico em leguminosas são eventos distintos e complexos com respostas muito variáveis no caso do feijoeiro, indicando que a eficiência da FBN é influenciada não só pela leguminosa e pela estirpe de rizóbio, como também pela interação entre os simbiossiontes e o meio (Carvalho, 2002).

**Tabela 7** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a plantas reinoculadas, avaliadas aos 42 dias após a semeadura

		AF	CR	MSPA	MSR	N	NT
NN <sup>1</sup>	r	-0,0607	0,5090	-0,0500	-0,0365	-0,1399	-0,1130
	P(r=0) <sup>2</sup>	0,8367	<b>0,0631</b>	0,8652	0,9015	0,6335	0,7005
MSN	r	0,0454	0,3194	0,0437	0,2935	-0,1699	-0,1504
	P (r=0)	0,8776	0,2656	0,8821	0,3084	0,5614	0,6077
NA	r	-0,4715	0,3927	-0,4739	-0,7498	0,7015	0,4373
	P (r=0)	0,3451	0,4412	0,3424	<b>0,0861</b>	<b>0,1204</b>	0,3859
CN	r	-0,4679	0,2903	-0,4891	-0,8554	0,5234	0,2082
	P (r=0)	0,3494	0,5767	0,3248	<b>0,0299</b>	0,2866	0,6922
DN	r	-0,6365	0,3403	-0,6445	-0,8770	0,6960	0,3750
	P (r=0)	0,1742	0,5093	0,1671	<b>0,0218</b>	<b>0,1246</b>	0,4639

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total. <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Houve tendência de efeito entre o P (P=0,1270) influenciando a biomassa seca das raízes de feijoeiro avaliadas aos 56 dias após semeadura para plantas reinoculadas (Tabela 8). O teor de P apresentou correlação significativa com área foliar, comprimento radicular, biomassa seca da parte aérea e N total das plantas de feijão provenientes da FBN.

Houve correlação significativa entre o teor de K<sup>+</sup> e a quantidade de N total da planta de feijão (Tabela 8). Os resultados encontrados também para P (Tabela 8) com forte influência tanto no desenvolvimento do feijoeiro quanto no resultado de N proveniente da FBN, concorda com os resultados normalmente encontrados em que a disponibilidade de P afeta a nodulação e FBN (Graham, 1981).

**Tabela 8** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas reinoculadas, avaliadas aos 56 dias após a semeadura

		pH	CO	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K	Na <sup>+</sup>	P
AF <sup>1</sup>	r	0,6358	0,3000	-0,5248	-0,7042	-0,0049	0,2994	0,0800	0,6927	0,7511	0,6650
	P(r=0) <sup>2</sup>	<b>0,0263</b>	0,3434	<b>0,0798</b>	<b>0,0106</b>	0,9881	0,3444	0,8048	<b>0,0125</b>	<b>0,0049</b>	<b>0,0183</b>
CR	r	0,7809	0,3925	-0,6384	-0,7170	0,4714	0,5340	0,5133	0,4988	0,7119	0,6688
	P(r=0)	<b>0,0016</b>	0,1847	<b>0,0189</b>	<b>0,0058</b>	<b>0,1039</b>	<b>0,0601</b>	<b>0,0728</b>	<b>0,0827</b>	<b>0,0063</b>	<b>0,0124</b>
MSPA	r	0,6652	0,2382	-0,4647	-0,6848	0,2032	0,2394	0,2240	0,7202	0,7233	0,5615
	P(r=0)	<b>0,0131</b>	0,4332	<b>0,1096</b>	<b>0,0098</b>	0,5055	0,4308	0,4619	<b>0,0055</b>	<b>0,0052</b>	<b>0,0458</b>
MSR	r	0,6422	0,2738	-0,4786	-0,6682	0,1388	0,1349	0,1445	0,5732	0,5642	0,4457
	P(r=0)	<b>0,0179</b>	0,3654	<b>0,0980</b>	<b>0,0125</b>	0,6512	0,6604	0,6378	<b>0,0406</b>	<b>0,0446</b>	<b>0,1270</b>
N	r	0,0840	-0,2200	0,0937	0,1168	0,5530	0,6354	0,6047	0,2769	0,3489	0,3753
	P(r=0)	0,7849	0,4702	0,7608	0,7041	<b>0,0500</b>	<b>0,0196</b>	<b>0,0286</b>	0,3597	0,2426	0,2063
NT	r	0,4814	0,1594	-0,3414	-0,3915	0,4871	0,4659	0,5049	0,5744	0,6543	0,6329
	P(r=0)	<b>0,0958</b>	0,6029	0,2536	0,1858	<b>0,0914</b>	<b>0,1086</b>	<b>0,0785</b>	<b>0,0401</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,0203</b>

<sup>1</sup>AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR – Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total; pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Não houve correlação entre pH e número de nódulo, biomassa seca de nódulos e tamanho de nódulos para plantas não-inoculadas, avaliadas aos 21 dias. Porém, houve correlação significativa entre pH do solo (Tabela 9) que influenciou o comprimento da raiz, a biomassa seca da parte aérea e a biomassa seca da raiz.

**Tabela 9** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas que não receberam reinoculação, avaliadas aos 14 dias após a semeadura

		pH	CO	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K	Na <sup>+</sup>	P
NN <sup>1</sup>	r	0,3626	0,0498	-0,1874	-0,3491	0,2214	-0,0342	0,1306	0,0856	0,4452	-0,0638
	P(r=0) <sup>2</sup>	0,2026	0,8658	0,5211	0,2212	0,4469	0,9077	0,6564	0,7712	<b>0,1107</b>	0,8283
MSN	r	0,0878	0,0758	-0,1331	-0,1664	-0,0605	-0,2737	-0,1516	-0,0003	0,1920	0,0102
	P (r=0)	0,6605	0,7654	0,7967	0,8373	0,8457	0,8577	0,9600	0,9724	0,9992	0,3438
NA	r	0,4629	-0,5400	-0,2645	-0,5014	0,1365	-0,1468	0,0225	-0,1295	0,4453	-0,7889
	P (r=0)	0,3553	0,2687	0,6126	0,3109	0,7965	0,7814	0,9662	0,8068	0,3762	<b>0,0621</b>
CN	r	0,4623	-0,5578	-0,2630	-0,4994	0,1345	-0,1545	0,0181	-0,1451	0,4296	-0,7757
	P (r=0)	0,3560	0,2501	0,6146	0,3131	0,7995	0,7700	0,9729	0,7839	0,3952	<b>0,0698</b>
DN	r	0,4584	-0,5544	-0,2588	-0,4963	0,1292	-0,1586	0,0132	-0,1479	0,4274	-0,7785
	P (r=0)	0,3606	0,2536	0,6205	0,3167	0,8073	0,7641	0,9802	0,7797	0,3979	<b>0,0682</b>
AF	r	0,2445	-0,5265	0,3637	0,1196	0,5601	0,5206	0,5791	0,2285	0,3474	-0,3033
	P (r=0)	0,3995	<b>0,0531</b>	0,2012	0,6838	<b>0,0372</b>	<b>0,0563</b>	<b>0,0300</b>	0,4320	0,2236	0,2918
CR	r	0,5722	0,5939	-0,7335	-0,7147	0,0217	0,1275	0,0664	0,2190	0,3214	0,3308
	P (r=0)	<b>0,0325</b>	<b>0,0251</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,0041</b>	0,9413	0,6640	0,8216	0,4519	0,2625	0,2481
MSPA	r	0,5847	0,4892	-0,6379	-0,6553	0,2518	0,4225	0,3375	0,4707	0,4189	0,5465
	P (r=0)	<b>0,0281</b>	<b>0,0758</b>	<b>0,0141</b>	<b>0,0110</b>	0,3851	<b>0,1323</b>	0,2379	<b>0,0894</b>	<b>0,1360</b>	<b>0,0432</b>
MSR	r	0,6561	0,4968	-0,6902	-0,7500	0,2338	0,3907	0,3127	0,3841	0,4461	0,4183
	P (r=0)	<b>0,0108</b>	<b>0,0708</b>	<b>0,0063</b>	<b>0,0020</b>	0,4211	0,1672	0,2763	0,1752	<b>0,1099</b>	<b>0,1366</b>
N	r	0,2259	0,4686	-0,5381	-0,4479	-0,1100	0,0229	-0,0624	0,1640	0,0957	0,5321
	P (r=0)	0,4375	<b>0,0910</b>	<b>0,0472</b>	<b>0,1083</b>	0,7083	0,9380	0,8321	0,5754	0,7449	<b>0,0502</b>
NT	r	0,3779	0,3002	-0,4483	-0,4684	0,1050	0,2489	0,1705	0,2465	0,2606	0,4088
	P (r=0)	0,1828	0,2971	<b>0,1079</b>	<b>0,0912</b>	0,7210	0,3909	0,5601	0,3956	0,3682	<b>0,1467</b>

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR – Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total; pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Houve tendência de efeito ( $P=0,0923$ ) para área de nódulos, ( $P=0,0778$ ) para comprimento e ( $P=0,0784$ ) para diâmetro dos nódulos (Tabela 10). O teor de N foi influenciado com tendências de efeito ( $P=0,0851$ ) para área de nódulos, ( $P=0,1043$ ) para comprimento de nódulos e ( $P=0,1018$ ) para diâmetro de nódulos. O tamanho dos nódulos influenciou com correlação significativa, o N total das plantas aos 21 dias após a germinação (Tabela 10). Provavelmente, isto se deve à crescente formação de nódulos nos primeiros 15 dias do ciclo da cultura e, conseqüentemente à FBN, ocorrendo uma diminuição aos 56 dias após a emergência em decorrência ao final do ciclo, estes resultados estão de acordo com os obtidos por Ferreira et al (1994). Vargas et al (1994), avaliando a formação de nódulos em feijoeiro comum, também observaram boa nodulação aos 12 dias após a emergência, mesmo utilizando níveis baixos de fertilizantes e calcário. Lira Junior et al (2005) estudando efeito de temperatura do sistema radicular no desenvolvimento de nódulos de ervilha, feijão e lentilha observaram nódulos visíveis nestas espécies aos 7 dias após a inoculação.

Não houve correlação significativa entre número de nódulos e biomassa seca de nódulos que pudesse influenciar a área foliar, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca da raiz, N e N total das plantas de feijão.

**Tabela 10** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a plantas que não receberam reinoculação, avaliadas aos 21 dias após a semeadura

		AF	CR	MSPA	MSR	N	NT
NN <sup>1</sup>	r	-0,1665	0,1063	-0,0480	-0,0068	-0,0019	-0,0834
	P(r=0) <sup>2</sup>	0,5694	0,7176	0,8706	0,9816	0,9948	0,7770
MSN	r	-0,1998	0,1289	-0,0528	-0,0573	0,1795	0,0148
	P (r=0)	0,4935	0,5108	0,5392	0,5696	0,6049	0,6501
AN	r	-0,1900	0,7404	-0,5140	-0,1906	-0,7513	-0,8520
	P (r=0)	0,7184	<b>0,0923</b>	0,2969	0,7176	<b>0,0851</b>	<b>0,0313</b>
CN	r	-0,1906	0,7627	-0,5211	-0,2105	-0,7232	-0,8354
	P (r=0)	0,7176	<b>0,0778</b>	0,2891	0,6889	<b>0,1043</b>	<b>0,0384</b>
DN	r	-0,1890	0,7618	-0,5187	-0,2074	-0,7268	-0,8368
	P (r=0)	0,7199	<b>0,0784</b>	0,2917	0,6933	<b>0,1018</b>	<b>0,0378</b>

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total. <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Houve correlação significativa entre tamanho dos nódulos, influenciados pelo teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , para plantas não-inoculadas, avaliadas aos 42 dias após a semeadura (Tabela 11). Este resultado confirma a importância do  $\text{Ca}^{2+}$  na nodulação de leguminosas como o feijoeiro. O N total foi influenciado por tendência de efeito ( $P=0,1310$ ) influenciado pela presença de íons  $\text{Al}^{3+}$ , bem como tendência ( $P=0,0610$ ) influenciada pelo  $\text{H}^+\text{Al}^{3+}$  (Tabela 11), indicando que a FBN foi afetada pela acidez do solo.

Aos 42 dias após a semeadura em plantas que não receberam segunda inoculação (Tabela 11), o número de nódulos não foi mais tão afetado pelo pH do solo, indicando efeito mais importante na fase inicial do processo de nodulação. Houve apenas tendência ( $P=0,0898$ ) para número de nódulos sendo influenciado pelo teor de  $\text{Mg}^{2+}$  e tendência ( $P=0,1342$ ) para biomassa seca de nódulos sendo influenciada pelo teor de  $\text{Mg}^{2+}$ .

Houve correlação significativa para área e tamanho de nódulos, sendo influenciados pela presença de cálcio e tendência ( $P=0,0779$  e  $P=0,08733$ ) para área foliar e biomassa seca da raiz, respectivamente, influenciadas pelo teor de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo em plantas não inoculadas, avaliadas aos 42 dias (Tabela 11). Houve crescente formação de nódulos nos primeiros 15 dias do ciclo da cultura, ocorrendo uma diminuição aos 56 dias após a emergência, provavelmente em função das plantas encontrarem-se na fase reprodutiva, concordando com Ferreira et al (1994).

**Tabela 11** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas que não receberam reinoculação, avaliadas aos 42 dias após a semeadura

		pH	CO	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K	Na <sup>+</sup>	P
NN <sup>1</sup>	r	0,2817	0,1319	-0,1755	-0,2465	0,3047	0,4702	0,3797	0,2440	0,1456	0,3039
	P(r=0) <sup>2</sup>	0,3293	0,6530	0,5484	0,3955	0,2894	<b>0,0898</b>	0,1806	0,4005	0,6195	0,2909
MSN	r	0,2665	0,1054	-0,1923	-0,2478	0,1939	0,4207	0,2760	0,1779	0,0826	0,3228
	P (r=0)	0,3570	0,7200	0,5101	0,3931	0,5067	<b>0,1342</b>	0,3396	0,5430	0,7788	0,2603
NA	r	0,6166	0,5393	-0,5556	-0,6276	-0,9571	0,3041	-0,6900	-0,0005	0,2507	0,6507
	P (r=0)	0,3834	0,4607	0,4444	0,3724	<b>0,0429</b>	0,6959	0,3100	0,9995	0,7493	0,3493
CN	r	0,5978	0,4390	-0,5373	-0,6055	-0,9950	0,4045	-0,6516	-0,0064	0,1389	0,6791
	P (r=0)	0,4022	0,5610	0,4627	0,3945	<b>0,0050</b>	0,5955	0,3484	0,9936	0,8611	0,3209
DN	r	0,5919	0,4354	-0,5310	-0,5998	-0,9956	0,3947	-0,6594	-0,0149	0,1344	0,6725
	P (r=0)	0,4081	0,5647	0,4690	0,4002	<b>0,0044</b>	0,6053	0,3406	0,9851	0,8656	0,3275
AF	r	0,6504	0,4543	-0,5333	-0,6436	0,4863	0,4058	0,5082	0,5433	0,3920	0,4833
	P (r=0)	<b>0,0118</b>	<b>0,1027</b>	<b>0,0495</b>	<b>0,0130</b>	<b>0,0779</b>	<b>0,1500</b>	<b>0,0635</b>	<b>0,0447</b>	0,1657	<b>0,0800</b>
CR	r	0,4485	0,7144	-0,7029	-0,6418	-0,1420	-0,2132	-0,1752	0,3397	0,2881	0,5340
	P (r=0)	<b>0,1077</b>	<b>0,0041</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0133</b>	0,6282	0,4643	0,5491	0,2347	0,3180	<b>0,0492</b>
MSPA	r	0,6023	0,3766	-0,4804	-0,5993	0,3171	0,2050	0,3145	0,2533	0,1809	0,4547
	P (r=0)	<b>0,0227</b>	0,1844	<b>0,0821</b>	<b>0,0235</b>	0,2693	0,4820	0,2734	0,3823	0,5360	<b>0,1024</b>
MSR	r	0,7050	0,6144	-0,6444	-0,6988	0,4788	0,4508	0,5149	0,8967	0,5155	0,8006
	P (r=0)	<b>0,0049</b>	<b>0,0194</b>	<b>0,0129</b>	<b>0,0054</b>	<b>0,0833</b>	<b>0,1057</b>	<b>0,0595</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0592</b>	<b>0,0006</b>
N	r	-0,0245	0,3860	-0,2317	-0,1565	-0,3342	-0,3609	-0,3725	-0,1069	0,0441	0,1385
	P (r=0)	0,9338	0,1729	0,4254	0,5931	0,2429	0,2049	0,1896	0,7161	0,8811	0,6369
NT	r	0,4963	0,3772	-0,4238	-0,5125	0,2810	0,0884	0,2523	0,2224	0,1567	0,3638
	P (r=0)	<b>0,0711</b>	0,1836	<b>0,1310</b>	<b>0,0610</b>	0,3305	0,7637	0,3842	0,4447	0,5927	0,2010

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total; pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico; Al<sup>3+</sup> – Alumínio; H+Al<sup>3+</sup> – Hidrogênio e Alumínio; Ca<sup>2+</sup> – Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup> – Magnésio trocável; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis; K<sup>+</sup> – Potássio trocável; Na<sup>+</sup> – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

O desenvolvimento da planta reflete na nodulação e no processo de FBN, mesmo por que, todas as variáveis referentes à nodulação, como: número de nódulos, biomassa seca de nódulos, área, comprimento e diâmetro de nódulos influenciaram a biomassa seca da parte aérea de plantas de feijão que não receberam reinoculação, avaliadas aos 42 dias com correlação significativa (Tabela 12).

As plantas que não foram reinoculadas, avaliadas aos 42 dias, apresentaram correlação significativa entre número de nódulos e área foliar e tendência ( $P=0,0616$ ) para biomassa seca de nódulos. Isso indica que, mesmo não recebendo doses de inoculante no momento da semeadura, os rizóbios inoculados neste solo 30 dias antes do plantio conseguiram sobreviver e nodular as raízes do feijoeiro e ainda responder positivamente através do N total acumulado na planta (Tabela 12), indicando que a FBN foi eficiente. Lovato et al (1985) demonstraram que o declínio acentuado na população de rizóbio observado em solos ácidos com alta concentração de  $Al^{3+}$ , pode ser diminuído pela elevação do pH do solo mediante calagem.

Contudo, mesmo em solos com baixo pH, normalmente prejudicial ao bom desenvolvimento do feijão, o rizóbio é capaz de manter-se com alta densidade populacional nos primeiros meses após a inoculação ao solo, quando utilizado em altas concentrações. É importante ressaltar que a nodulação foi efetuada com a estirpe proveniente de inoculante, mas também existe a população nativa do solo. No caso do rizóbio, a adaptação a condições ácidas tem ainda um papel importante na simbiose. Estirpes de rizóbio tolerantes a acidez do solo aderem mais as raízes do que as estirpes sensíveis, o que parece estar relacionado a menor disponibilidade de P e  $Ca^{2+}$  no solo.

Houve correlação significativa entre número de nódulos que influenciou a área foliar das plantas de feijão que não receberam reinoculação, avaliadas aos 42 dias após a semeadura (Tabela 12), enquanto a biomassa seca de nódulos influenciou a área foliar com tendência ( $P=0,0616$ ). Estes resultados divergem dos encontrados por Campos et al (2001) ao estudarem a eficiência da FBN por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto, confirmando que é a biomassa seca de nódulos e não o número de nódulos que é o indicador mais adequado para avaliar o estabelecimento de uma simbiose eficaz.

Houve correlação significativa entre área foliar, comprimento radicular, biomassa seca da parte aérea e biomassa seca da raiz, sendo estas variáveis influenciadas pelo pH e

pelo  $H+Al^{3+}$  em plantas que receberam reinoculação, avaliadas aos 56 dias após a semeadura. Esses resultados são semelhantes aos apresentados na (Tabela 12) para plantas que não foram reinoculadas nesta mesma data.

**Tabela 12** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da nodulação e da planta em relação às plantas que não receberam reinoculação, avaliadas aos 42 dias após a semeadura

		AF	CR	MSPA	MSR	N	NT
NN <sup>1</sup>	r	0,5921	-0,0059	0,6648	0,3655	-0,0446	0,4183
	P (r=0) <sup>2</sup>	<b>0,0257</b>	0,9840	<b>0,0095</b>	0,1988	0,8797	<b>0,1366</b>
MSN	r	0,5114	0,0150	0,6515	0,3207	-0,0309	0,3669
	P (r=0)	<b>0,0616</b>	0,9594	<b>0,0116</b>	0,2636	0,9165	0,1970
NA	r	0,6609	0,6955	0,9999	0,4785	0,7241	0,9138
	P (r=0)	0,3391	0,3045	<b>0,0001</b>	0,5215	0,2759	<b>0,0862</b>
CN	r	0,6343	0,6697	0,9723	0,4647	0,5694	0,7832
	P (r=0)	0,3657	0,3303	<b>0,0277</b>	0,5353	0,4306	0,2168
DN	r	0,6290	0,6647	0,9739	0,4578	0,5779	0,7873
	P (r=0)	0,3710	0,3353	<b>0,0261</b>	0,5422	0,4221	0,2127

<sup>1</sup>NN – Número de nódulos; MSN – Biomassa seca de nódulos; AN – Área dos nódulos; CN – Comprimento dos nódulos; DN – Diâmetro dos nódulos; AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR – Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total. <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Houve correlação significativa entre o N total que foi influenciado pelo pH,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H+Al}^{3+}$  e P do solo e ocorreu tendência de efeito ( $P=0,0858$ ) para carbono orgânico, ( $P=0,0820$ ) para  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  e ( $P=0,0617$ ) para  $\text{K}^+$  influenciando também o N total (Tabela 13). Estes resultados discordam os obtidos por Bala et al (2003), que encontraram correlação significativa entre as variáveis do solo e a nodulação de leguminosas, porém fraca correlação com bases trocáveis e N total.

**Tabela 13** - Valores de correlação linear e respectivas probabilidades entre características da planta em relação a características de LATOSSOLO AMARELO, Álico, TB, A Moderado, Textura Média com pH variando de 4,0 a 5,5, para plantas que não receberam reinoculação, avaliadas aos 56 dias após a semeadura

		pH	CO	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H+Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K	$\text{Na}^+$	P
AF <sup>1</sup>	r	0,9494	0,5305	-0,6732	-0,8167	0,4762	0,1992	0,4556	0,5289	0,1600	0,6813
	P(r=0) <sup>2</sup>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0621</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,1000</b>	0,5141	<b>0,1177</b>	<b>0,0631</b>	0,6016	<b>0,0103</b>
CR	r	0,8656	0,7808	-0,9047	-0,9068	-0,0936	0,2723	0,0535	0,3411	-0,0073	0,7282
	P(r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0010</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,7502	0,3464	0,8558	0,2327	0,9803	<b>0,0031</b>
MSPA	r	0,8832	0,5191	-0,6260	-0,7435	0,3865	0,3409	0,4806	0,6534	0,2249	0,7297
	P(r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0572</b>	<b>0,0166</b>	<b>0,0023</b>	0,1723	0,2330	<b>0,0819</b>	<b>0,0113</b>	0,4396	<b>0,0031</b>
MSR	r	0,6415	0,5170	-0,6281	-0,6608	0,0430	-0,0892	-0,0074	0,0298	-0,1431	0,3525
	P (r=0)	<b>0,0134</b>	<b>0,0583</b>	<b>0,0162</b>	<b>0,0101</b>	0,8840	0,7616	0,9799	0,9195	0,6255	0,2164
N	r	0,2494	0,3801	-0,4253	-0,3192	-0,5131	0,2080	-0,3216	-0,0101	0,2145	0,2067
	P(r=0)	0,3899	0,1800	<b>0,1295</b>	0,2659	<b>0,0606</b>	0,4755	0,2621	0,9727	0,4615	0,4783
NT	r	0,8866	0,4754	-0,5798	-0,7247	0,3697	0,3695	0,4805	0,5113	0,2067	0,6009
	P(r=0)	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0858</b>	<b>0,0298</b>	<b>0,0034</b>	0,1933	0,1936	<b>0,0820</b>	<b>0,0617</b>	0,4783	<b>0,0231</b>

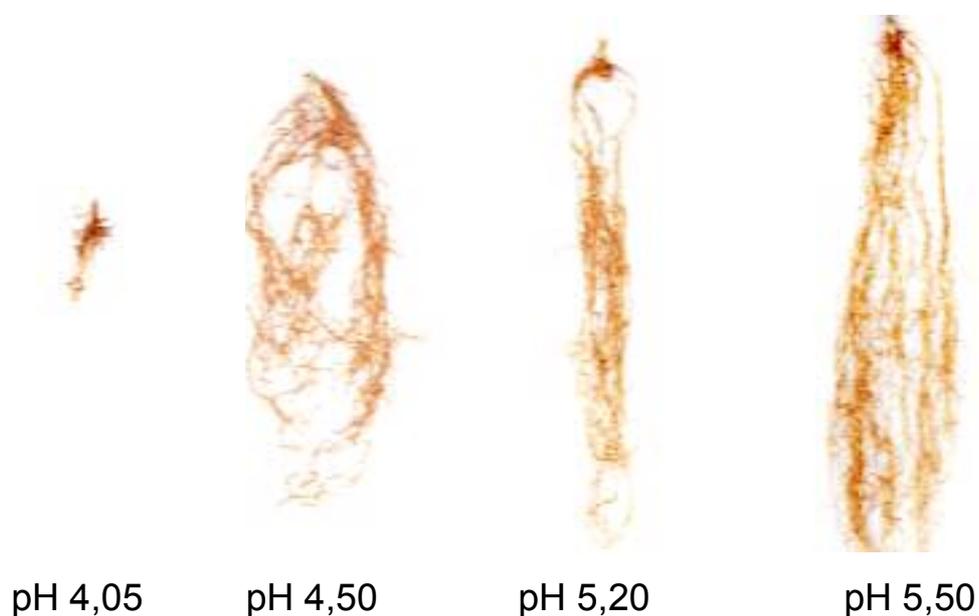
<sup>1</sup>AF – Área foliar; CR – Comprimento radicular; MSPA – Biomassa seca da parte aérea; MSR - Biomassa seca das raízes; N – teor de nitrogênio; NT – Nitrogênio total; pH – pH do solo em água (1: 2,5); CO – Carbono Orgânico;  $\text{Al}^{3+}$  – Alumínio;  $\text{H+Al}^{3+}$  – Hidrogênio e Alumínio;  $\text{Ca}^{2+}$  – Cálcio trocável;  $\text{Mg}^{2+}$  – Magnésio trocável;  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  – Soma de Cálcio e Magnésio trocáveis;  $\text{K}^+$  – Potássio trocável;  $\text{Na}^+$  – Sódio trocável; P – Fósforo disponível. Todas as determinações foram feitas de acordo com metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). <sup>2</sup>Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito e itálico indicam correlação significativa ao nível de 5% entre as variáveis comparadas. Valores de probabilidade destacados com fonte em negrito indicam tendência de correlação significativa, variando de 5 a 15 % de chance de que a correlação linear não seja diferente de 0.

Alterações no pH do solo determinam variações dos fatores bióticos que interferem na sobrevivência dos rizóbios nos solos. Esta sensibilidade à acidez do solo é dependente da estirpe, bem como da variedade de leguminosa utilizada (Carvalho, 2002). Os resultados obtidos indicaram que até o final do ciclo desta cultivar de feijoeiro, houve influência do pH do solo, bem como do  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H+Al}^{3+}$  tanto no desenvolvimento da planta, como no processo de nodulação, com correlação significativa para área foliar, comprimento da raiz, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca da raiz e N total (Figuras 1 e 2). Esses resultados estão de acordo com a afirmação de Duguma et al (1988) que, em solos ácidos, a toxidez do  $\text{Al}^{3+}$  tem

vido apontada como um fator importante por interferir não somente o sucesso do estabelecimento das leguminosas, mas também o crescimento da própria planta e o processo de FBN.



**Figura 1** - Desenvolvimento de plantas de feijão reinoculadas, avaliadas aos 14 dias após a semeadura em função do pH do solo (4,05; 4,50; 5,20 e 5,50).



**Figura 2** - Desenvolvimento do sistema radicular em plantas de feijão reinoculadas, avaliadas aos 21 dias após a semeadura em função do pH do solo (4,05; 4,50; 5,20 e 5,50).

A área foliar, o comprimento da raiz, a biomassa seca da parte aérea e a biomassa seca da raiz foram variáveis altamente influenciadas pelo pH,  $Al^{3+}$  e  $H+Al^{3+}$  com correlação significativa. Estes resultados indicam que no estágio inicial de desenvolvimento o feijoeiro é mais afetado pelo baixo pH do solo, porém até o final do seu ciclo a planta sofreu as conseqüências da acidez do solo (Tabelas 4, 6, 8, 9 e 11). Estes fatores combinados ou individuais são conhecidos por afetarem o número de rizóbios no solo, bem como atuarem na pressão de seleção pelo fato de serem fatores críticos e determinantes da diversidade genética desses microrganismos. O número de bactérias com capacidade para nodular, bem como o número de nódulos que uma planta tem condições para formar, pode ser afetado pela acidez do solo (Bala et al., 2003).

Aos 21 dias após a inoculação, tanto as plantas inoculadas quanto as não inoculadas (Tabelas 4 e 8) foram afetadas pela acidez do solo, destacando que, para as plantas inoculadas, o N total, parcialmente proveniente da FBN, foi influenciado com correlação significativa pelo pH,  $Al^{3+}$  e  $H+Al^{3+}$ , o que não foi observado para as plantas que não foram reinoculadas. A maioria dos autores relata que a fase mais sensível à acidez do solo é a iniciação dos nódulos porque um bom suprimento de  $Ca^{2+}$  é indispensável à divisão celular. Após o estabelecimento do nódulo, um abaixamento do pH não terá grande efeito sobre a FBN, mas sim no processo de infecção nos pêlos radiculares.

De modo geral, as variáveis relacionadas à nodulação foram influenciadas de forma mais importante às plantas que não foram reinoculadas do que as inoculadas aos 21 dias (Tabelas 4 e 9), possivelmente devido à maior variabilidade encontrada no primeiro grupo, quando comparado com o segundo.

Aos 42 dias após a semeadura, enquanto as plantas que foram reinoculadas apresentaram correlação significativa apenas entre comprimento de nódulos e diâmetro de nódulos e biomassa seca da raiz, (Tabela 6), as plantas que não foram reinoculadas apresentaram correlação significativa entre número, biomassa seca, e tamanho dos nódulos e a biomassa seca da parte aérea (Tabela 11). Isto provavelmente indica que a reinoculação não seria necessária em solo com população elevada de bactérias, conforme induzido pela primeira adição de inoculante ao solo.

As condições da acidez do solo influenciaram o desenvolvimento das plantas desde os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura (Tabelas 4 e 8) até o final do ciclo (Tabelas 7 e 12). Esses resultados corroboram os encontrados por Dal Bó et al., 1986; Ribeiro Junior et al., 1987; Carvalho et al., 1988, ao afirmarem que, em solos ácidos, o crescimento das leguminosas e a FBN são afetados pelo baixo pH e pela

concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo, que limitam tanto o crescimento da planta hospedeira, como também, a nodulação. Deste modo, todos os problemas associados à acidez do solo que podem estar interferindo o desenvolvimento normal das leguminosas, conseqüentemente podem afetar o funcionamento da simbiose (Ribeiro Junior et al., 1987).

De modo geral, a capacidade de nodulação e a capacidade de fixar o N atmosférico em leguminosas são eventos distintos e complexos com respostas muito variáveis no caso do feijoeiro, indicando que a eficiência da FBN é influenciada não só pela leguminosa e pela estirpe de rizóbio, como também pela interação entre os simbiossantes e o meio (Carvalho, 2002).

## **CONCLUSÕES**

O estágio inicial de desenvolvimento do feijoeiro (21 dias) foi mais afetado pelo baixo pH do solo, porém até o final do seu ciclo a planta sofreu as conseqüências da acidez do solo.

A estirpe de rizóbio inoculada neste solo 30 dias antes do plantio conseguiu sobreviver e nodular as raízes do feijoeiro por que respondeu favoravelmente ao N total, indicando que a simbiose foi eficiente.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao “Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE”, a “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior” (CAPES), a “Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas” (FAPEAL) e ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq).

A “Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA”, pela concessão do inoculante e das sementes de feijão para a realização do experimento.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agros comunicação/FNP Consultoria e Agroinformativos, p.503-512. 2005.
- ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 1999, 359 p.
- BALA, A.; MURPHY, P.J.; OSUNDE, A.O.; GILER, K.E. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.22, p.211-223, 2003.
- BANGEL, E.V., MEYER, J.V., SILVA, G.M. Coleção de culturas de rizóbio SEMIA (FEPAGRO-MIRCEN). In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001.p 68-68.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: Black, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: **American Society of Agronomy**. v. 9, Part 2. p. 1149-1178, 1965.
- BROSE, E. Seleção de rizóbio para Trevo-branco em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.2, p.281-285, 1994.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.1029-1040, 2001.
- CAMPOS, B.C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de N<sub>2</sub> por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.583-592, 2001.

CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F.; OLIVEIRA, F.T.T; MERTINS, C.E. Resposta de leguminosas forrageiras tropicais à calagem e ao fósforo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.153-159, 1988.

CARVALHO, E.A. **Avaliação agrônômica da disponibilização de nitrogênio à cultura de feijão sob sistema de semeadura direta**. 2002. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 1998, 198p.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, p. 195-198, 1986.

DATE, R.A. Inoculated legumes in cropping systems of the tropics. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.65, p.123-136, 2000.

DUGHRI, M.H. & BOTTOMLEY, P.J. Effect of acidity on the composition of an indigenous soil population of *Rhizobium trifolii* found in nodules of *Trifolium subterraneum* L. **Applied Environment Microbiology**, Baltimore, v.46, n.5, p.1207-1213, 1983.

DUGUMA, B.; KANG, B.T.; OKALI, D.U.U. Effect of liming and phosphorus application on performance of *Leucaena leucocephala* in acid soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.110, p.57-61, 1988.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1997, 212p.

FERREIRA, L.G.; MENDES FILHO, P. F.; ALBUQUERQUE, I. M. Fixação simbiótica em caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) em função do déficit hídrico. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v.25, n.1/2, p.16-23, 1994.

FULLIN, E.A. Acidez do solo e Calagem. In: DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de Necessidade de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEEA/INCAPER, p.70-98. 2001.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, v.65, p.93-106, 2000.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p.

HOWIESON, J.G. EWING, M.A.; Annual species of *Medicago* differ greatly in their ability to nodulate on acid soils. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.40, p.843-850, 1989.

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

LIRA JUNIOR, M.A.; SMITH, D.L. Use of a standard TWAIN scanner and software for nodule number determination on different legume species. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p.1463-1467, 2000.

LIRA JUNIOR, M. A.; LIMA, A. S. T.; ARRUDA, J. R. F.; SMITH, D. L. Effect of root temperature on nodule development of bean, lentil and pea. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 37, p. 235-239, 2005.

LOVATO, P. E.; PEREIRA, J. C.; VIDOR, C. Flutuação populacional de *Rhizobium phaseolii* em solos com e sem calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.9-12, 1985.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1990, 15p.

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

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, Cargil, p.03-57, 1984.

MARTINS, M.L., SILVA, T.R.B., SORATTO, R.P., LEMOS, L.B. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2003. 1 CD-ROM.

MENDES, I.C.; SUHET, A.R. PERES, J.R.R. VARGAS, M.A.T. Eficiência fixadora de estipes de rizóbio em duas cultivares de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.421-425, 1994.

MIGUEL, D. L.; MOREIRA, F. M. S. Influência do pH do meio de cultivo e da turfa no comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25. p.873-883, 2001.

MIRANDA, P., COSTA, A.F.; PIMENTEL, M.L., MAFRA, R.C., OLIVEIRA, L.R. Feijão comum "Princesa" (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **IPA. Cultivares recomendadas pelo IPA**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2002.p.21-22.

MONTEALEGRE, C.; GRAHAM, P.H.; KIPE-NOLT, J.A. Preference in the nodulation of *Phaseolus vulgaris* cultivar RAB39. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.41, p.992-998, 1995.

PAULINO, V.T.; MALAVOLTA, E.; COSTA, N.L. Resposta de *Neonotonia wightii* à calagem e aplicação de micronutrientes. **Pastures Tropicales**, Cali, v.16, n.2, p.23-33. 1994.

PRADO, R.M. **Efeito da calagem no desenvolvimento, no estudo nutricional e na produção de frutos da goiabeira e da caramboleira.** 68 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2003.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1007-1012, 2004.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; LOPES, E. S.; FRANCO, A. A. Eficiência de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. Para quatro leguminosas arbóreas e competitividade das estirpes em *Albizia lebbek* em latossolo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11. p.275-282, 1987.

RICHARDSON, A.E.; DJORDJEVIC, M.A.; ROLFE, B.G.; SIMPSON, R.J. Expression of nodulation genes in Rhizobium and acid sensitivity of nodule formation. **Australian Journal Plant Physiology**, v.16, p.117-119, 1989.

ROQUE, C.G.; PRADO, R.M.; NATALE, W.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.5, p.485-490, 2004.

SAS INSTITUTE. **The SAS system for windows.** Estados Unidos, 1999. 1 CD – ROM.

SCHOLLES, D.; KOLLING, J.; FREIRE, J.R.J. Necessidade de inoculação e aplicação de calcário em leguminosas forrageiras tropicais em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.97-102, 1981.

SLATTERY, J. F.; COVENTRY, D. R.; SLATTERY, W. J. Rhizobial ecology as affected by the soil environment. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, p.289-298, 2001.

SOUZA, L. A. G. **Diversidade de rizóbios e eficiência na fixação biológica de N em leguminosas arbóreas em solos remanescentes da Mata Atlântica em Pernambuco (Brasil)**. 2006. 309 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2006.

VANCE, C.P., HEICHEL, G.H., PHILLIPS, D.A. Nodulation and symbiotic dinitrogen fixation. In: Hanson, A. A., Barnes, D. K., Hill, R. R. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison: **American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America**, p.229-257, 1988.

VARGAS, A.A.T.; GRAHAM, P. Cultivar and pH effects on competition for nodule sites between isolates of *Rhizobium* in beans. **Plant Soil**, Dordrecht, v.117, n.2, p. 195-200, 1989.

VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; PERES, J. R. R. Fixação biológica de nitrogênio em solos de cerrados. Brasília: **EMBRAPA- CPAC**, 1994, 83 p.