

Identificação de Genótipos de Feijão-caupi Tolerantes a Acidez em um Latossolo Vermelho-Amarelo do Estado de Roraima

Identification of cowpea genotypes sensitivity to acidity conditions in an Oxisol of Roraima State (Brazil).

Sandra C. P. Uchôa
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do CCA /UFRR
scpuchoa@roraima20.com

Armando J. da Silva
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do CCA /UFRR

José M. A. Alves
Departamento de Fitotecnia do CCA /UFRR

Valdinar F. Melo
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do CCA /UFRR

Jane M. F. de Oliveira
EMBRAPA /RR

Leandro Peccini
Aluno de Graduação em Agronomia do CCA /UFRR

Resumo: O presente trabalho foi realizado com o objetivo de identificar genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.), tolerantes à acidez. O trabalho foi realizado em casa de vegetação localizada no Campus do Cauamé, da Universidade Federal de Roraima, utilizando um Latossolo Vermelho-Amarelo de Boa Vista-RR. Foi adotado o delineamento experimental de Blocos Inteiramente Casualizados em esquema fatorial 2 x 5 x 10 com três repetições. Os tratamentos resultaram de duas formas de localização do calcário (localizada e não-localizada), 5 profundidades (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 cm) e 10 genótipos de feijão-caupi (IT85D-3428-4-R2,4-HM; Apiaú; Hikari Graúdo; Pretinho Precoce 1; IT85D-3428-4-3-HP; USA; UFRR Grão Verde; BRS-Mazagão; Canapum e Sempre Verde). A unidade experimental foi constituída por 2dm³ de solo, dispostos em tubo de PVC com 25cm de altura, 10cm de diâmetro e duas plantas de feijão. Os tubos foram confeccionados por meio da junção de 5 anéis com 5 cm cada, sendo que no anel inferior foi colocada uma placa delgada de isopor para permitir a acomodação do solo. Aos 40 dias após a emergência, as plantas foram coletadas, sendo determinada a produção de matéria seca das raízes e parte aérea. Os genótipos IT85D-3428-4-3-HP e UFRR GRÃO VERDE foram classificados como sendo de baixa tolerância, os genótipos USA, BRS-Mazagão, IT85D-3428-4-R2,4-HM e Sempre Verde, medianamente tolerantes e os genótipos Apiaú, Hikari Graúdo, Pretinho Precoce 1 e Canapum, tolerantes à acidez.

Palavras-Chave: *Vigna unguiculata* (L) Walp; solo; alumínio; calcário.

Abstract: This research was carried out objecting to identify the sensibility of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) genotypes to acidity conditions. The experiment was installed in a greenhouse located at Campus of Cauamé (Universidade Federal de Roraima) in an oxisol of Roraima State (Brazil). The experimental design adopted was a completely randomized blocks in a factorial scheme 2 x 5 x 10 with three replicates. The terms of this factorial refers to two forms of lime applying (localized and uniform), five depths of soil (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 cm), and ten genotypes of cowpea (IT85D-3428-4-R2,4-HM, Apiaú, Hikari Graúdo, Pretinho Precoce 1, IT85D-3428-4-3-HP, USA, UFRR Grão Verde, BRS-Mazagão, Canapum, and Sempre Verde). The experimental unity consisted of 2 dm³ of soil inside PVC tube 25 cm in height and diameter of 10 cm with two cowpea plants. Forty days after the germination, the plants were collected and the dry matter yield was determined. The genotypes IT85D-3428-4-3-HP and UFRR Grão Verde showed high sensibility to acidity, the genotypes USA, BRS-Mazagão, IT85D-3428-4-R2,4-HM, and Sempre Verde presented medium sensibility to acidity and the genotypes Apiaú, Hikari Graúdo, Pretinho Precoce 1, and Canapum presented sensibility to acidity.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L) Walp; soil; aluminum; lime.

Introdução

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma importante leguminosa nas regiões tropicais e sub-tropicais, estando presente em 65 países de diferentes

continentes, na Ásia e Oceania, sudeste da Europa, África, sudeste dos EUA, América Central e América do Sul.

Estima-se que seja cultivado em 14,5 milhões de hectares com uma produção anual em torno de 4,5 milhões

de toneladas (SINGH, 2002).

No Brasil, com destaque para as regiões Norte e Nordeste, o feijão-caupi constitui a principal cultura de subsistência e fonte de proteína de origem vegetal para o pequeno produtor.

No Nordeste encontram-se as maiores áreas plantadas, 1,9 milhões de hectares com produtividade de 700 kg.ha⁻¹ de grãos (SINGH *et al.*, 2005), tendo um importante papel sócio-econômico, além de ser fixadora de mão-de-obra (CARDOSO e RIBEIRO, 2001; TÁVORA *et al.*, 2001; HALL, 2003).

Na região Norte, destaca-se o estado do Pará onde a sua produção movimenta, atualmente, mais de 70 milhões de dólares, anualmente, em 124 municípios, com a maior área plantada concentrando-se nos 16 municípios que integram a região de Bragantina e que forma o chamado “Pólo do Feijão-Caupi” (EMATER-Pa, 2005). A cultura ocupa, diretamente, 30 mil pessoas, entre pequenos, médios e grandes produtores, já com uso de algumas tecnologias modernas, onde a produtividade média é de 1.000 kg.ha⁻¹ de grãos (CRAVO *et al.*, 2006).

No estado de Roraima o feijão-caupi, conhecido como feijão regional, é o mais consumido pela população. Sua exploração é feita pelo pequeno produtor como cultura de subsistência, sendo consorciado com a mandioca e/ou milho em condições de sequeiro e com baixo nível tecnológico. O cultivo é feito principalmente em solos onde predominam as classes do Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo. Este é um aspecto que deve ser levado em consideração na expansão da cultura no Estado, pois esses solos caracterizam-se por apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes, alta saturação por alumínio tóxico, elevada acidez, baixa capacidade de troca catiônica e baixa saturação por bases (MELO *et al.*, 2004).

Em trabalho de caracterização química de solos de Roraima obtido por meio da análise de 87 perfis de solo, (MELO *et al.*, 2004) demonstraram que 53% dos solos se enquadram na categoria de acidez elevada (pH menor que 5,0), 73% apresentam teores de cálcio abaixo de 2 cmol_c.dm⁻³ e os teores de Mg enquadram-se de baixo a muito baixo (< 0,5 cmol_c.dm⁻³) em 63%.

Os dados para alumínio trocável indicam que apenas 30% dos solos apresentam níveis baixos, os demais se encontram no limite de toxidez ou acima.

A fertilização e a calagem permitem corrigir grande parte dessas deficiências, principalmente na fase de abertura de novas áreas. No entanto a eficiência da calagem limita-se à camada de incorporação que normalmente não ultrapassa a profundidade de 15 cm, permanecendo níveis elevados de alumínio nas camadas inferiores podendo as condições do subsolo permanecer adversas ao crescimento radicular (PAVAN *et al.* 1984).

As limitações à produtividade agrícola causadas pela não-correção da acidez do subsolo têm sido amplamente estudadas em outras regiões do Brasil e do mundo envolvendo diversas condições de solo, clima e culturas

(CAMARGO *et al.*, 1982; GONZALES-ERICO *et al.*, 1979; PAVAN *et al.*, 1982; RITCHEY *et al.*, 1982; SUMMER *et al.*, 1986; FARINA e CHANNON, 1988; HUE e LICUDINE, 1999).

A presença de alumínio em níveis tóxicos causa distúrbios citológicos, fisiológicos e bioquímicos no sistema radicular, determinando redução do seu crescimento, alterando a disponibilidade de nutrientes na rizosfera, e afetando a absorção e translocação de nutrientes pelas plantas (ROY *et al.*, 1988; TAYLOR, 1988; MATSUMOTO, 2000). Nessas condições o sistema radicular é impedido de alcançar profundidades maiores tornando-o ineficiente quanto à absorção de água e nutrientes.

A possibilidade de obtenção de plantas capazes de emitirem raízes mais profundas em condições de elevada saturação de alumínio, dada à variabilidade genética geralmente observada dentro de uma espécie (PITTA *et al.*, 1976) parece ser a forma mais prática e econômica de contornar os problemas provocados pelo alumínio e pela acidez.

O objetivo do presente trabalho foi identificar genótipos de feijão-caupi tolerantes a acidez por meio da avaliação do seu crescimento quando submetidos a duas formas de localização de calcário em condições de casa de vegetação.

Material e métodos

Localização do experimento e caracterização do solo

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro e dezembro de 2003 em casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima (CCA/UFRR), em Boa Vista/RR.

Foi coletada uma amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob vegetação de cerrado com relevo plano, bem drenado e ainda não incorporado ao sistema produtivo, localizado no *Campus* do Cauamé/UFRR, em Boa Vista, Roraima, na latitude de 2°40'11"N, longitude de 60°40'24"O e altitude de 90 m.

O solo foi coletado na profundidade de 0 a 20 cm, destorroado, posto para secar a sombra e passado em peneira de 2 mm de malha. Após este procedimento, foram realizadas análises químicas e físicas, de acordo com métodos preconizados pela EMBRAPA (1997) (Tabela 1).

Fatores em estudo e delineamento experimental

Foram estudados os seguintes fatores:

- a) Duas formas de localização de Calcário: 1 – Localizado; 2 – Não-Localizado.
- b) Cinco profundidades do solo (cm): 0 a 5; 5 a 10; 10 a 15; 15 a 20 e 20 a 25.
- c) Dez genótipos de feijão caupi: IT85D-3428-4-R2,4-HM; Apiaú; Hikari Graúdo; Pretinho Precoce 1; IT85D-3428-4-3-HP; USA; UFRR Grão

Verde; BRS-Mazagão; Canapum e Sempre Verde.

Tabela 1: Caracterização química e física do solo utilizado no experimento.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹
4,6	2,30	5,76	0,20	0,25	0,30	1,88	0,46	2,34	20	40	7,30
Areia				Silte				Argila			
61,36				20,71				17,93			

Os genótipos Pretinho Precoce 1 e UFRR Grão Verde são provenientes dos trabalhos de seleção realizados pelo Departamento de Fitotecnia da UFRR sobre os genótipos IT85D-3428-R e IT85F-2687, respectivamente, originário do Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA – Ibadan, Nigéria).

O genótipo BRS-Mazagão é originário de trabalhos de melhoramento da linhagem IT87D-1627, originária do IITA – Ibadan, Nigéria. Os estudos com esse genótipo no Estado de Roraima foram iniciados em 2002 por meio de ensaios em áreas de mata, de cerrado e de unidades experimentais nos campos experimentais da EMBRAPA-Roraima.

Os genótipos Apiaú, Canapum e Sempre Verde são oriundos de cultivos realizados no estado de Roraima e fazem parte do banco de germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRR. Os demais genótipos selecionados foram cedidos ao Departamento de Fitotecnia da UFRR, pelo banco de germoplasma da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 x 10, com três repetições. Os termos do fatorial referem-se às duas formas de localização de calcário, cinco profundidades do solo e dez genótipos de feijão-caupi.

A unidade experimental foi constituída por 2 dm³ de solo, dispostos em tubo de PVC com 25 cm de altura, 10 cm de diâmetro e duas plantas de feijão. Os tubos foram confeccionados por meio da junção (com fita adesiva) de 5 anéis com 5 cm cada, sendo que no anel inferior foi colocada uma placa delgada de isopor para permitir a acomodação do solo no tubo.

Condução do experimento

Parte do solo estudado foi submetida a uma dose de 1,5 t/ha de CaCO₃ e MgCO₃ na relação equivalente de Ca:Mg de 4:1. Após a adição do calcário, o solo permaneceu incubado na capacidade de campo por 30 dias. Nos tratamentos com calcário localizado, apenas os primeiros 5 cm de solo receberam o corretivo, enquanto que, nos tratamentos não-localizados, todo o volume de solo foi submetido à calagem.

Antes do plantio, que foi feito adicionando-se 4 sementes por vaso, as unidades experimentais receberam solução nutritiva com os seguintes nutrientes e respectivas fontes e doses: P – Na₂HPO₄·7H₂O – 150 mg.L⁻¹; K – KCl – 188 mg.L⁻¹; B – H₃BO₃ – 0,82 mg.L⁻¹; Mn – MnCl₂·4 H₂O – 3,66 mg.L⁻¹; Cu – CuCl₂·2 H₂O – 1,55

mg.L⁻¹; Mo – (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O – 0,15 mg.L⁻¹; Zn – ZnSO₄ – 3,49 mg.L⁻¹. O desbaste foi realizado 10 dias após a emergência das plantas (DAE), deixando-se duas plantas por vaso. A adubação nitrogenada foi feita aos 15 DAE com 70 mg.L⁻¹ de (NH₄)₂SO₄. Durante o experimento, o solo foi mantido com teor de umidade próximo à capacidade de campo.

Aproximadamente aos 40 DAE, foi feita a colheita, cortando-se as plantas rente ao solo. As raízes foram coletadas nas diversas profundidades e lavadas com água corrente. Após a coleta, raízes e parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa com circulação forçada de ar, onde permaneceram sob temperatura de 75°C até obtenção de peso constante.

Após a secagem, o material foi pesado, sendo determinada a produção de matéria seca de raízes e parte aérea. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e a comparação entre os tratamentos foi feita por meio do teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Na Tabela 2 são apresentadas as médias de produção de matéria seca de raízes e da parte aérea dos dez genótipos de feijão-caupi estudados em função de duas formas de aplicação de calcário. Observa-se que o efeito da localização de calcário determinou reduções na produção de matéria seca para estas variáveis em alguns genótipos.

Entre os genótipos afetados destacam-se o IT85D-3428-4-3-HP e UFRR Grão Verde que tiveram suas médias de produção de matéria seca reduzida tanto na parte aérea quanto na raiz, pelo efeito da localização do calcário.

Os genótipos USA e BRS-Mazagão apresentaram variação, apenas, na produção de matéria seca de raízes, enquanto que os IT85D-3428-4-R2,4-HM e Sempre Verde o efeito da localização do calcário deu-se na matéria seca da parte aérea.

As variações observadas na matéria seca de raízes e da parte aérea pelo efeito da localização do calcário são evidências de sensibilidade à acidez e a saturação por alumínio, por parte destes genótipos.

Uma saturação por alumínio de 60% tem sido considerada limitante para a maioria das culturas. Todavia, culturas sensíveis são impedidas de expressarem seu potencial de crescimento quando a saturação por alumínio atinge valores em torno de 10 a 20% (EVANS e KAMPRATH, 1970).

(FOY, 1992) ressalta que apesar da abundância e elevada toxicidade do Al, a sua importância se dá quando o pH do solo é ácido, uma vez que os minerais que contém

alumínio de baixa solubilidade liberam alumínio para solução do solo, que pode atingir níveis tóxicos.

Tabela 2: Massa de matéria seca de raízes e da parte aérea de genótipos de feijão-caupi, em resposta à localização de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Boa Vista-RR, Dezembro de 2003. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

GENÓTIPOS	RAÍZES			PARTE AÉREA		
	Calagem		Média	Calagem		Média
	Uniforme	Localizada		Uniforme	Localizada	
	-----g/vaso-----					
IT85D-3428-4-R2,4-HM	2,38 Acd	2,33 Ab	2,36	3,75 Aa	2,96 Bab	3,36
Apiáú	2,30 Ad	2,53 Aa	2,42	2,08 Ac	2,37 Abc	2,23
Hikari Graúdo	2,46 Abcd	2,26 Ab	2,36	3,31 Aab	3,00 Aab	3,16
Pretinho Precoce 1	2,23 Ad	2,29 Ab	2,26	2,63 Abc	2,98 Aab	2,81
IT85D-3428-4-3-HP	2,77 Aab	2,23 Bb	2,50	3,53 Aab	2,73 Bd	2,63
USA	2,66 Aabc	2,28 Bb	2,47	3,54 Aab	3,22 Aa	3,38
UFRR Grão Verde	2,91 Aa	2,25 Bb	2,58	2,96 Aabc	2,26 Bcd	2,61
BRS-Mazagão	2,53 Abcd	2,08 Bc	2,32	2,82 Aabc	2,64 Aabc	2,73
Canapum	2,44 Acd	2,32 Ab	2,38	3,00 Aabc	2,67 Aabc	2,80
Sempre Verde	2,31 Ad	2,33 Ab	2,32	3,15 Aabc	2,48 Bbc	2,82
Média	2,50	2,29	2,40	3,06	2,65	2,85
C.V.(%)	18,9			15,9		

Os dez genótipos testados apresentaram semelhança de comportamento quanto à distribuição do sistema radicular nos vasos (Tabela 3), praticamente em todos os anéis o percentual de raízes não apresentou diferenças significativas para o tratamento onde o calcário foi aplicado uniformemente. Esse padrão de comportamento foi observado também no segundo anel dos tratamentos que receberam calcário de forma localizada. (SILVA *et al.*, 1984) também observou, em nove genótipos de sorgo, a ausência de diferenças significativas pela adição de calcário de modo uniforme no vaso quando comparado com o tratamento localizado, indicando assim, que as alterações observadas na distribuição do sistema radicular podem ser consideradas diferenças genotípicas de tolerância à acidez ou ao excesso de alumínio.

A limitação ao aprofundamento do sistema radicular nas camadas inferiores dos vasos, que continham o solo com elevada acidez resultou em maior percentual de raízes no primeiro e segundo anéis (Tabela 3). A camada de solo (5–10 cm) do segundo anel foi beneficiada pela movimentação do calcário aplicado na camada (0–5 cm), sendo corrigida das condições adversas proporcionadas pela acidez e alta saturação por alumínio, determinando conseqüentemente uma maior concentração de raízes nos dois primeiros anéis (0–10 cm), superando, assim, os percentuais encontrados nos tratamentos que receberam calcário uniformemente (Tabela 4). Para estas condições, destacaram-se os genótipos Hikari Graúdo e Pretinho Precoce 1, com o maior percentual de raízes no primeiro e segundo anéis respectivamente e, com desempenho inferior, o genótipo IT85D-3428-4-R2,4-HM, no primeiro anel.

Segundo (ALLEONI *et al.*, 2005) o movimento do calcário é dependente da dose e do tipo de calcário

aplicado na superfície, da textura do solo, da porosidade, da matéria orgânica do solo e do regime hídrico do solo.

Em regiões sem problemas de limitação hídrica a aplicação de calcário na superfície tem indicado aumento do pH, dos teores de Ca e Mg trocáveis e redução do Al trocável até 40 cm de profundidade (CAÍRES *et al.*, 2000). Já em regiões de restrições hídricas, 570 mm ao ano, foi verificado que a aplicação de calcário (1,5 t/ha) sobre a superfície levou de dois a quatro anos para alcançar a profundidade de 10 cm e não foi eficiente em aumentar o pH abaixo dessa profundidade, por um período de oito anos (CONYERS *et al.*, 2003).

No terceiro anel, cinco dos dez genótipos testados, Apiáú, Hikari Graúdo, Pretinho Precoce 1, IT85D-3428-4-3-HP e UFRR Grão Verde, tiveram reduções expressivas nos percentuais de raízes (> 25%), nos tratamentos onde o calcário foi localizado, ratificando as condições químicas adversas impostas pela acidez e saturação por alumínio ao crescimento do sistema radicular. Verifica-se, ainda, que o efeito da movimentação de calcário, explica a ausência de significância entre as formas de aplicação de calcário no percentual de raízes dos genótipos Canapum e Sempre Verde.

Considerando que nos anéis subseqüentes, principalmente no quinto anel, o genótipo Sempre Verde e Canapum apresentaram reduções drásticas nos seus percentuais de raízes, 72 e 59%, respectivamente (Figura 1). Ressalta-se, entretanto, que as reduções nos percentuais de raízes destes genótipos não determinaram diferenças significativas no resultado final de matéria seca de raízes em função das formas de aplicação do calcário.

Tabela 3: Percentual de raízes de genótipos de feijão-caupi em função de formas de localização de calcário nas camadas de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-25 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo de Boa Vista-RR

Anel 1/	CALAGEM	GENÓTIPOS					Média	CV
		IT85D-3428-4-R2,4-HM	Apiáú	Hikari Graúdo	Pretinho Precoce 1	IT85D-3428-4-3-HP		
		%						
1	Uniforme ^{2/}	22,8Aa ^{4/}	23,6Aa	23,0Aa	21,6Aa	22,7Aa		
	Localizada ^{3/}	25,6Ca	28,0Ba	33,9Ab	27,5Bb	28,9ABb		
	Média	24,2	25,8	28,5	24,6	25,8		
2	Uniforme	26,2Aa	29,2Aa	28,3Aa	31,2Aa	27,3Aa		
	Localizada	36,6Ab	40,6Ab	37,7Ab	41,7Ab	36,2Ab		
	Média	31,4	34,9	33,0	36,5	31,8		
3	Uniforme	23,5Aa	20,4ABa	19,5ABa	19,9ABa	19,5ABa		
	Localizada	18,3ABb	14,5Bb	10,8Cb	14,2Bb	14,7Bb		
	Média	20,9	17,5	15,1	17,1	17,1		
4	Uniforme	14,9Aa	14,9Aa	16,3Aa	15,1Aa	16,7Aa		
	Localizada	11,6Ab	9,5ABb	9,9ABb	9,9ABb	12,0Aa		
	Média	13,2	12,2	13,1	12,5	9,4		
5	Uniforme	12,6Aa	11,9Aa	12,9Aa	12,2Aa	13,7Aa		
	Localizada	7,9Ab	7,4Ab	7,8Ab	6,7Ab	8,4Ab		
	Média	10,2	9,6	10,3	9,5	11,1		

Anel 1/	CALAGEM	GENÓTIPOS					Média	CV
		USA	UFRR Grão Verde	BRS-Mazagão	Canapum	Sempre Verde		
		%						
1	Uniforme ^{2/}	20,9Aa	21,2Aa	22,8Aa	22,3Aa	23,8Aa	22,5	7,8
	Localizada ^{3/}	31,6ABb	30,9ABb	27,4Bb	30,8ABb	32,4ABb	29,7	
	Média	26,2	26,0	25,1	26,6	28,1	26,1	
2	Uniforme	29,3Aa	29,4Aa	27,4Aa	26,5Aa	28,0Aa	28,3	8,7
	Localizada	35,7Ab	37,7Ab	37,8Ab	35,6Ab	36,6Ab	37,6	
	Média	32,5	33,5	32,6	31,0	32,3	33,0	
3	Uniforme	18,9ABa	20,0ABa	19,3ABa	20,0ABa	18,8Ba	20,0	11,6
	Localizada	15,5ABb	14,4Bb	16,5ABb	18,1ABa	19,0Aa	15,6	
	Média	17,2	17,2	17,9	19,0	18,9	17,8	
4	Uniforme	17,2Aa	16,1Aa	16,8Aa	16,6Aa	14,7Aa	16,0	11,2
	Localizada	11,0ABb	10,8ABb	11,5Ab	9,5ABb	7,9Bb	10,4	
	Média	14,1	13,5	14,2	13,0	11,3	12,6	
5	Uniforme	12,8Aa	13,4Aa	13,7Aa	14,1Aa	14,6Aa	13,2	15,9
	Localizada	6,3ABb	6,2ABb	6,9Ab	5,9ABb	4,1Bb	6,8	
	Média	9,5	9,8	10,3	10,0	9,3	10,0	

Legenda: 1/ O vaso formado por cinco anéis sobrepostos, cada anel com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro. 2/ Utilizou-se calagem em todo o solo do vaso. 3/ A calagem foi utilizada apenas nos primeiros 5 cm de solo. 4/ As médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

No genótipo Sempre Verde houve, entretanto, redução da matéria seca da parte aérea pela localização do calcário, demonstrando que a inibição do desenvolvimento do sistema radicular refletiu-se nessa variável e que este genótipo se revelou sensível às condições adversas do solo não corrigido.

A inibição no crescimento das raízes e formação de caloses são parâmetros adequados para seleção de genótipos de feijão-caupi sensíveis a toxicidade ao

alumínio (JEMO *et al.*, 2006), assim como em milho (HORST *et al.*, 1997; COLLET *et al.*, 2002) e em soja (HORST *et al.*, 1992). A exposição de raízes a concentrações tóxicas de alumínio leva a inibição do seu crescimento (RYAN e KOCHIAN, 1993; KOCHIAN, 1995), impedindo a aquisição de fósforo (FOY, 1984). Além do crescimento da raiz, o alumínio também impede a atividade metabólica (LIMA e COPELAND, 1994), a integridade da membrana plasmática (JONES e KOCHIAN, 1997; ISHIKAWA e WAGATSUMA, 1998), a absorção de cátions (BALIGAR *et al.*, 1987; HUANG *et*

Tabela 4: Percentagem de raízes de genótipos de feijão em cada anel do tratamento com calagem localizada, em relação ao peso de raízes no anel correspondente do tratamento com calagem uniforme.

Genótipos	Anéis				
	1	2	3	4	5
IT85D-3428-4-R2,4-HM	112,2Be	139,8Aa	77,8Cc	78,1Ca	62,4Da
Apiáú	118,6Bde	139,0Aab	71,1Cc	63,7Dcd	62,3Da
Hikari Graúdo	147,0Ba	133,1Aab	55,1Cd	60,7Ccd	60,7Cab
Prezinho Precoce 1	127,0Acd	133,8Aab	71,8Bc	65,6Bbc	54,7Cbc
IT85D-3428-4-3-HP	126,9Acd	132,4Aab	75,1Bc	71,5Bab	61,0Cab
USA	151,0Aa	121,8Bc	82,0Cc	64,0Dbcd	49,3Ecd
UFRR Grão Verde	145,4Aab	128,4Bbc	72,1Cc	67,4Cbc	46,4Dde
BRS-Magazão	120,2Bde	138,0Aab	85,2Cb	68,4Db	50,3Ecd
Canapum	138,5Abc	134,3Aab	90,6Bb	57,3Cde	41,3De
Sempre Verde	136,0Abc	130,0Aabc	101,1Ba	53,3Ce	28,4Df

C.V.(%) = 10,1

Legenda: Média seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A localização de calcário foi determinante para a restrição do sistema radicular e da matéria seca da parte aérea de alguns dos genótipos estudados. A maior concentração de raízes foi na camada corrigida e naquelas que receberam calcário por movimentação.

Esses dados são corroborados por (FOY, 1976), cuja toxidez por alumínio pode às vezes diminuir substancialmente a produção das culturas sem apresentar sintomas evidentes na parte aérea da planta, e (FURTINI NETO *et al.*, 1999) observaram que o aumentado da saturação por alumínio implicou em redução na matéria seca produzida tanto nas raízes quanto na parte aérea das espécies florestais estudadas, refletindo também na redução da altura e do diâmetro do caule de todas as espécies.

Embora o baixo pH, isoladamente, possa ser responsável por prejuízos diretos ao desenvolvimento das plantas em decorrência do excesso de H⁺ na solução do solo (JOHNSON e WILKINSON, 1993; SANSONOWICZ e SMITH, 1995), há evidências que, em solos ácidos, fatores outros, como a saturação por alumínio, podem estar restringindo o adequado desenvolvimento das plantas.

Foi observado com frequência nos tratamentos onde o calcário foi localizado que os genótipos apresentaram em quantidades variadas a emissão de raízes de maiores diâmetros, em detrimento de raízes secundárias, que atingiram toda a extensão do vaso. É provável que o gasto de energia metabólica empregada no crescimento desse tipo de raiz impediu uma maior proliferação de raízes na camada corrigida dos tratamentos onde ocorreu a localização do calcário a fim de compensar a menor proporção de raízes no ambiente não corrigido, determinando assim as diferenças estatísticas nas variáveis matéria seca de raízes e matéria seca da parte aérea em alguns genótipos (Tabela 2).

Na Figura 1 pode-se observar que a partir do terceiro anel os genótipos, exceto o Sempre Verde, apresentaram alterações significativas na distribuição do sistema radicular pela forma de localização do calcário em relação a aplicação uniforme, levando a considerar que todos os genótipos estudados apresentaram sensibilidade as condições de acidez e saturação por alumínio nas camadas não corrigidas. Embora o crescimento da raiz seja o melhor parâmetro para comparar tolerância entre os genótipos (MEDA e FURLANI, 2005), a produção total de matéria seca das raízes e da parte aérea permitiu uma melhor discriminação dos genótipos quanto a tolerância às condições adversas das camadas não corrigidas pelo calcário. O efeito das condições de acidez sobre a produção final de matéria seca da raiz e da parte aérea foi determinante para a classificação dos genótipos quanto à tolerância a acidez e a saturação por alumínio.

Tomando-se como critério de decisão as variáveis de produção total de matéria seca da raiz e da parte aérea, os genótipos IT85D-3428-4-3-HP e UFRR Grão Verde foram considerados com baixa tolerância às condições de acidez, uma vez que o efeito da localização do calcário determinou reduções significativas tanto na matéria seca de raiz quanto da parte aérea (Tabela 2). Particularmente no genótipo IT85D-3428-4-3-HP, o peso da matéria seca da parte aérea sofreu uma redução de 3,53g para 1,73g, equivalente a 51%, indicando que este parâmetro está relacionado com a baixa tolerância a acidez. Os genótipos USA, BRS-Mazagão, IT85D-3428-4-R2,4-HM e Sempre Verde foram considerados medianamente tolerantes, pois a forma de aplicação do calcário provocou efeitos significativos na matéria seca das raízes ou na matéria seca da parte aérea. Nos demais genótipos, as formas de aplicação do calcário não afetaram de modo significativo nos resultados totais da matéria seca da raiz e da parte aérea, indicando tolerância à acidez.

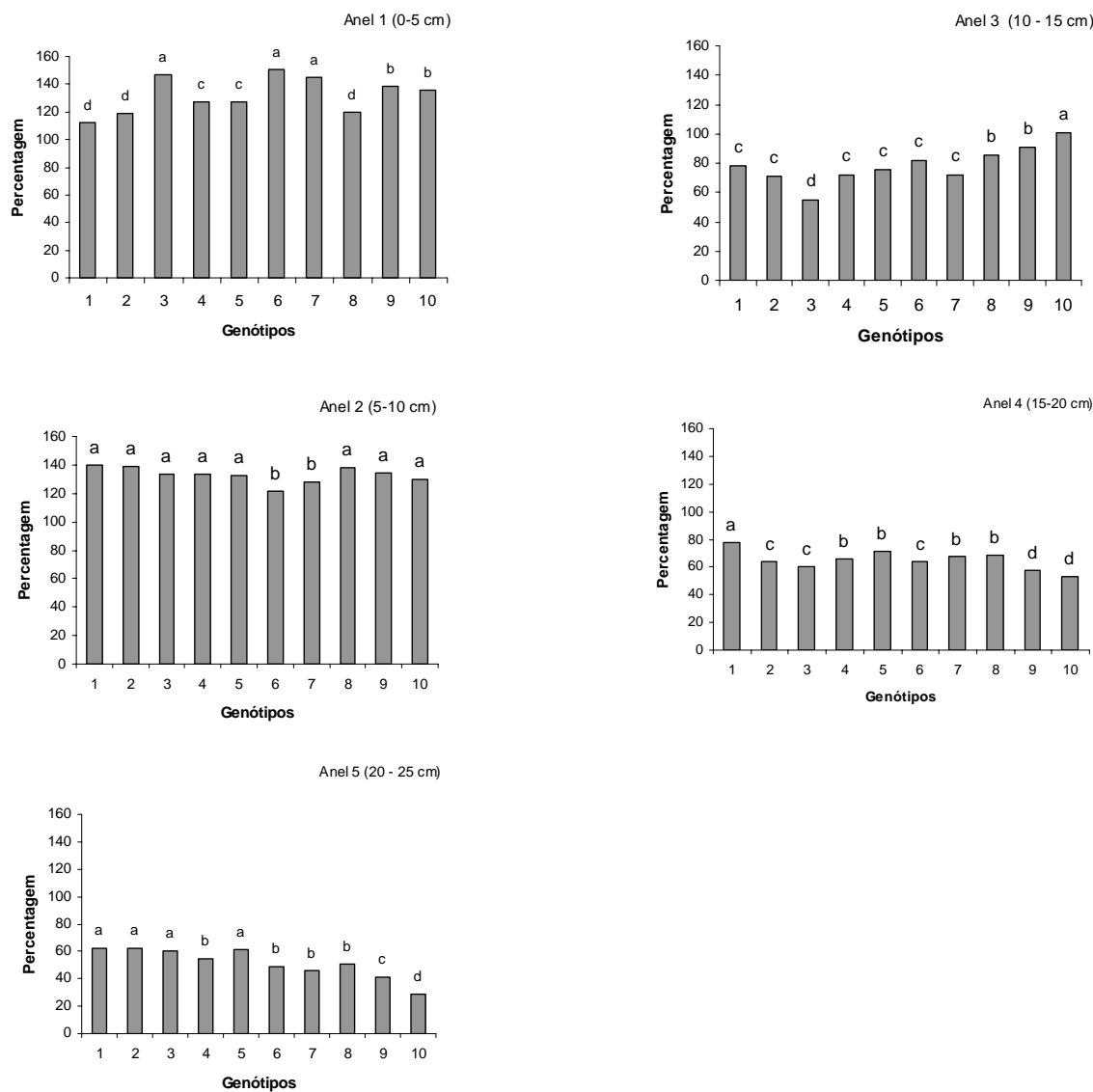


Figura 1: Percentagem de raízes de genótipos de feijão-caupi, nos anéis do tratamento com calagem localizada, obtido em relação ao peso de raízes no anel correspondente do tratamento com calagem uniforme. Barras seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de agrupamento de médias de Skott-Knott a 5%.

Estudos posteriores em condições de campo com o genótipo UFRR Grão Verde, considerado de baixa tolerância, confirmaram os resultados obtidos em condições de casa de vegetação, uma vez que a localização do calcário na linha de plantio determinou reduções significativas na produção de grãos de feijão verde, desse genótipo, da ordem de 15,5% em relação à forma de aplicação a lanço seguida da incorporação na camada 0-20 cm, modo convencional (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

A discriminação dos genótipos tolerantes a acidez sub-superficial é de grande importância do ponto de vista agrônomo, pois pode determinar uma expressiva redução nos custos de produção por não necessitar de proceder à incorporação do calcário. Do ponto de vista ambiental, vai reduzir impactos que seriam causados aos solos pela passagem de máquinas e equipamentos pesados necessários a incorporação de calcário. CARGNELUTTI FILHO *et al.* (1996), verificaram que são necessários, aproximadamente, três anos de sistema de plantio direto

para a recuperação de 59 a 90% dos agregados destruídos pela mobilização do solo em sistemas de cultivos convencionais, que incorporam o calcário. Dessa forma, o uso de genótipos de feijão-caupi tolerantes as condições de acidez abaixo da zona de correção do calcário é adequado para o sistema de plantio direto e se mostra imprescindível do ponto de vista da conservação do solo para a região Amazônica.

Estudos relacionados à tolerância de *Vigna unguiculata* a acidez são restritos. MEDA e FURLANI (2005), comparando 17 espécies de leguminosas tropicais em solução nutritiva considerou a espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp. altamente tolerante a toxicidade ao alumínio. Por outro lado JEMO *et al.* (2006), estudando oito genótipos de caupi, em solução nutritiva, verificaram que todos apresentaram reduções variando de 14 a 60% no crescimento da raiz em função da toxicidade de Al, destacando-se, apenas, um genótipo resistente.

A existência de genótipos de feijão-caupi com tolerância absoluta à acidez não é uma realidade nas condições em que foi conduzido o ensaio, o uso de corretivos continua sendo uma prática fundamental para corrigir as limitações ligadas à fertilidade do solo, tais como: teores adequados de cálcio e magnésio, aumento da capacidade de troca de cátions, promoção da atividade microbiana e disponibilidade de nutrientes para as plantas. Entretanto, os dados do presente estudo sugerem que práticas que oneram o processo produtivo, como a incorporação do calcário ao solo na camada arável, podem ser restringidas quando da adoção de genótipos sensíveis a acidez.

Conclusões

Tomando-se como critério de decisão a produção total de matéria seca da raiz e da parte aérea identificou-se os genótipos IT85D-3428-4-3-HP e UFRR Grão Verde, de baixa tolerância, os genótipos USA, BRS-Mazagão, IT85D-3428-4-R2,4-HM e Sempre Verde, medianamente tolerantes e os genótipos Apiaú, Hikari Graúdo, Pretinho Precoce 1 e Canapum tolerantes a acidez.

Literatura citada

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A., CAÍRES, E.F. 2005. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:923-934.

BALIGAR, V.; KINRAID, T.B.; WRIGHT, R.; BENNETT, O.; SMEDLEY, M. 1987. Aluminum effect on growth and P, Ca and Mg uptake efficiency in red clover cultivars. *J. Plant Nutr.* 10:1131-1137.

BLAMEY, F.P.C.; ASHER, C.J.; EDWARDS, D.C.; KERVIN, G.L. 1993. *In vitro* evidence of aluminum effects on solution movement through root cell walls. *J. Plant Nutr.* 16:555-562.

CAÍRES, E.F.; BANZATO, D.A.; FONSECA, A.F. 2000. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:161-169.

CALBA, H.; JAILLARD, B.; 1997. Effect of aluminum on ion uptake and H⁺ release by maize. *New Phytol.* 137:607-616.

CAMARGO, A.P.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T.R.; NAGAI, V.; MASCARENHAS, H.A.A. 1982. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1007-1012.

Cardoso, M.J.; Ribeiro, V.Q. 2001. Produtividade de grãos de feijão caupi relacionada à densidade de plantas e à associação com milho em solo de tabuleiro costeiro. In: Reunião Nacional do Caupi, 5., Anais. Teresina: Embrapa Meio Norte, p.76-79, (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 56).

CARGNELUTTI Filho, A.; REINERT, D.J.; BORGES, D.F. 1996. Recuperação de estabilidade estrutural induzida pelo plantio direto, d solo que recebeu preparo convencional por dois anos. In: Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, 13, Águas de

Lindóia. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

COLLET, L.; de LEON, C.; KOLLMEIER, M. SCHMONHL, N., HORST, W.J. 2002. Assessment of aluminum sensitivity of maize cultivars using roots intact plants and excised root tips. *J. Plant Nutr.* 165:357-65.

CONYERS, M.K.; HEENAN, D.P.; McGHIE, W.J.; POILE, G.P. 2003. Amelioration of acidity with time by limestone under contrasting tillage. *Soil Till. Res.* 72:85-94.

CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J.; SOUZA, B.D.L. 2006. Nível crítico para feijão-caupi em Latossolo Amarelo textura média do Nordeste paraense. In: Congresso Nacional de Feijão-Caupi e VI Reunião Nacional de Feijão-Caupi: Tecnologias para o Agronegócio. Anais. Teresina. Embrapa Meio-Norte. CD-ROM.

EMATER. 2005. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará – Escritório Regional de Capanema – Palestra sobre o feijão-Caupi, em Reunião do Comitê Gestor do Feijão-Caupi. Capanema.

EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. Brasília, Embrapa. 212p.

EVANS, L.E; KAMPRATH, E.J. 1970. Lime responses as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter response. *Soil Science Society American Proceeding*, Madison, v.32, n.2, p. 297-310, Mar./Apr.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. 1988. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:175-180.

FOY, C.D. 1976. General principles involved in screening plants for aluminium and manganese tolerance. In: Wright, M.J. (Ed.) *Plant Adaption to Mineral Stress in Problem Soils*. Beltsville, p. 255-267.

Foy, C.D. 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. In: Adams, F. (Ed.) *Soil acidity and liming*. Agronomy Monograph. No. 12, 2nd ed. ASA-CSSA-SSSA, Wis. P. 57-97.

FOY, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: Hatfield, J.L., ed., *Limitations to plant root growth*. New York, Springer-Verlag. p. 97-149.

FUTINI NETO, A.E., RESENDE, A.V.; Vale, F.R. do; Fernandes, L.A. 1999. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. *Cerne*, V.5, N.2, 001-0.12.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMANN, G.C.; SOARES, W.V. 1979. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-1158.

Hall, A.E. 2003. Future directions of bean/cowpea collaborative research support program. *FieldCrops Reasearch*, v.82, p. 233-240.

HORST, W.J.; ASHER, c.J.; CAKMAK, I.; SZULKIEWICZ, P.; WISSEMEIER, A.H. 1992. Short term response of soybean roots to aluminum. *J. Plant*

- Physiol.* 140:174-178.
- HORST, W.J.; PÜSCHEL, A.-K., SCHMOHL, N. 1997. Induction of callose formation is a sensitive marker for genotypic aluminum sensitivity in maize. *Plant and Soil*, 192:23-30.
- HUANG, J.; SHAFF, J.; GRUNES, D. KOCHIAN, L. 1992. Aluminum effect on calcium fluxes at root apex of aluminum tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiol.* 98:230-237.
- HUE, N.V.; LICUDINE, D.L. 1999. Ameliorating of subsoil acidity through surface application of organic manures. *J. Environ. Qual.*, 28:623-632.
- ISHIKAWA, S. WAGATSUMA, T. 1998. Plasma membrane permeability of root-tip cells following temporary exposure to Al ions is a rapid measure of Al tolerance among plant species. *Plant Cell. Physiol.* 39:516-525.
- JEMO, M.; ABAIDOO, R.C.; NOLTE, C.; HORST, W.J. 2006. Aluminum resistance of cowpea as affected by phosphorus-deficiency stress. *Journal of Plant Physiology*. Available on line at www.sciencedirect.com. Acesso em 01 set. 2006.
- JOHNSON, J.W.; WILKINSON, R.E. 1993. Wheat growth responses of cultivars to H⁺ concentration. In: Randall, P.J.; Delhaize, E.; Richrads, R.A.; Muns, R. (Eds.) *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. The Netherlands: Kluwer Academic, p.69-73.
- JONES, D.L.; KOCHIAN, L.V. 1997. Aluminum interaction with plasma membrane lipids and enzyme metal binding sites and its potential role in Al cytotoxicity. *FEBS*. 400:51-57
- KOCHIAN, L.V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46:237-260.
- LIMA, M. de; COPELAND L. 1994. The effect of aluminum on respiration of wheat. *Physiol. Plant.* 90:51-58.
- MATSUMOTO, H. 2000. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *Int. Rev. Cytol.*, 200:1-46.
- MEDA, A.R.; FURLANI, P.R. 2005. Tolerance to aluminum toxicity by tropical leguminous plants used as cover crops. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 48, n.2. 309-317.
- MELO, V.F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S.C.P. 2004. *Características edafológicas dos solos do estado de Roraima*. DSI/UFRR, Boa Vista. 46p.
- OLIVEIRA, G.A.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J.M.A.; SILVA, A.J.; SANTOS, C.S.V. dos; E.M. CIRQUEIRA; PECCINI, L.; BRASIL, R. de P.; CARVALHO, K.S. 2005. Efeito do modo de aplicação de calcário na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) verde e seco. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. *Anais*. Recife. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.
- PAVAN, M.A.; BINGHAN, F.T.; Pratt, P.F. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38.
- PAVAN, M.A.; BINGHAN, F.T.; Pratt, P.F. 1982. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃ and CaSO₄. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1201-1207.
- PITTA, G.V.E.; TREVISAN, W.L. SCHAEFFERT, R.E.; FRANÇA, C.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. 1976. Avaliação de linhagens de sorgo em condições de elevada acidez. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 11, Piracicaba, *Anais*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", p. 553-557.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, S.E.; COSTA, V.F. 1982. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382.
- ROY, A. ; SHARMA, A. ; TALUKADER, G. 1988. Some aspects of aluminum toxicity in plants. *Bot. Rev.*, 54:145-78.
- RYAN, P.R.; KOCHIAN, L.V. 1993. Interaction between aluminum and calcium uptake at the root apex in near-isogenic lines of wheat (*Triticum aestivum* L) differing in aluminum tolerance. *Plant Physiol.* 102:975-982.
- SANSONOWICZ, C.; SMITH, T.J. 1995. Effects of hydrogen in soybean root growth in a subsurface solution. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, V.30, n.2, p.255-261.
- SILVA, J.B.C. da; NOVAIS, R.F.; SEDIYAMA, C.S. 1984. Identificação de genótipos de sorgo tolerantes a toxicidade de alumínio. *R. bras. Ci. Solo*, 8:77-83.
- SINGH, B.B. 2002. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] In: Singh, R.J.; Jauhar, P.P. (Eds). *Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production*. Ibadan: IITA, p.22-40.
- SINGH, B.B.; EHLERS, J.D.; SHARMA, B.; FREIRE-FILHO, F.R. 2005. *Recent progress in cowpea breeding*. In: Fatokun, C.A.; Tarawali, S.A.; Singh, B.B.; Kormawa, P.M. Tamo, M. (Eds). *Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement*. V. 1. Boca Raton: CRC Press, p. 117-162.
- SUMMER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BLOUTON, J.; HAMMEL, J. 1986. Amelioration of an acid profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 :1254-1278.
- TÁVORA, F.J.A.F.; NOGUEIRA, S.L. PINHO, J.L.N. de. 2001. Arranjo e população de plantas de feijão-de-corda cultivadas com diferentes características de copa.
- TAYLOR, G. 1988. The physiology of aluminum phytotoxicity. In: Sigel, H.; Sigel, A. (Eds). *Metal ions in biological systems*. New York, N.Y.: Marcel Dekker. P. 123-163.

Recebido e aceito para publicação em 21/11/07.