



## PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À DIFERENTES DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Elielson Lima Aquino<sup>1</sup>; Anacleto Ranulfo dos Santos<sup>2</sup>; Girlene Santos de Souza<sup>3</sup>; Petterson Costa Conceição Silva<sup>4</sup>,

1 Pós-graduando em Solos e Qualidade de Ecossistemas/Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Campus Cruz das Almas

2 Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

3 Professora Adjunto do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (girlene@ufrb.edu.br)

4 Pós-Graduando em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal do Ceará, Brasil

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do alumínio ( $Al^{3+}$ ) em solução nutritiva no crescimento inicial de plantas de amendoim. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, onde foram utilizadas seis diferentes doses de alumínio compondo os seguintes tratamentos: 0; 27; 54; 108; 216 e 432 ( $mg L^{-1}$ ), aplicados em solução nutritiva. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de hastes, comprimento de raízes, teor de clorofila, área foliar e identificados aspectos visuais de toxidez do alumínio. As plantas foram separadas em folhas, hastes e raízes e todo o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a  $70 \pm 2^{\circ}C$ , até biomassa constante, utilizando-se uma balança analítica com precisão de  $10^{-4}g$ . O teor de clorofila, a área foliar, o comprimento das raízes, a altura das plantas, massa das hastes e massa seca total das plantas de amendoim foram afetados com o aumento da concentração do íon alumínio em solução nutritiva. A presença do alumínio não afetou de maneira significativa a produção de massa seca das raízes das plantas de amendoim. As diferentes concentrações de alumínio ( $AlCl_3$ ) nas soluções nutritivas diminuíram o pH, aumentaram o potencial osmótico e a condutividade elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Arachis hypogaea*, crescimento, hidroponia, nutrição mineral

### PEANUT PLANTS (*Arachis hypogaea* L.) SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF ALUMINUM IN NUTRIENT SOLUTION

#### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of aluminum ( $Al^{3+}$ ) in nutrient solution on the growth of peanuts. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with four replications, where six different doses of aluminum were used, composing the following treatments: 0, 27, 54, 108, 216 and

432 (mg L<sup>-1</sup>), applied in nutrient solution. The following variables were evaluated: stems height, root length, chlorophyll content, leaf area and identified visual aspects of aluminum toxicity. The plants were separated into leaves, stems and roots and all the material was dried in an convective drier with forced air circulation at 70 ± 2 °C up to constant biomass, using an analytical balance with a precision of 10<sup>-4</sup>g. The chlorophyll content, leaf area, root length, plant height, mass of stems and total dry mass of the peanut plants were affected by increasing the concentration of the aluminum ion in nutrient solution. The presence of aluminum did not affect significantly the dry mass of the roots of peanut plants. The different concentrations of aluminum (AlCl<sub>3</sub>) in nutrient solutions decreased pH, increased osmotic potential and electrical conductivity.

**KEYWORDS:** *Arachis hypogaea*, growing, hydroponics, plant nutrition

### INTRODUÇÃO

O amendoineiro (*Arachis hypogaea* L.) é uma leguminosa de origem sul americana que no século XVIII foi introduzida na Europa e no século XIX difundiu-se do Brasil para a África e do Peru para as Filipinas, China, Japão e Índia. É uma planta herbácea anual, dicotiledônea, pertencente à família Leguminosae, subfamília Papilionoideae e gênero *Arachis* e possui ampla adaptabilidade, podendo ser cultivado em diferentes regiões tropicais (LAZARINI & CRUSCIOL, 2000).

Rico em óleo, proteínas e vitaminas, era uma importante fonte de energia e aminoácidos utilizada intensamente na alimentação dos indígenas antes da colonização. Nos dias atuais o amendoim é um produto conhecido e apreciado em praticamente todos os países pelo seu incomparável sabor e versatilidade de uso em pratos salgados, doces e indústrias (SUASSUNA et al., 2006). De acordo com TASSO JÚNIOR et al., (2004), o amendoim apresenta relevante importância econômica dada a utilização de suas sementes diretamente na alimentação humana, nas indústrias de conservas, em confeitarias e na produção de biodiesel.

Os dados da CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - indicam que as lavouras de amendoim na safra 2011/2012, ocuparam uma área de 108 mil hectares e produziram em torno de 236 mil toneladas do produto, sendo que o estado de São Paulo responde por cerca de 70% da produção brasileira de amendoim. No nordeste a Bahia é o estado com maior área plantada, porém, tem a menor expectativa de produtividade. Além disso, O nordeste é considerado o segundo maior pólo consumidor de amendoim do Brasil, estimado em 50 mil toneladas por ano (BARBOSA, 2008), sendo que os principais estados produtores são Bahia, Sergipe, Ceará e Paraíba.

A planta de amendoim tem natureza hipógea, ou seja, os frutos desenvolvem-se debaixo do solo. Necessita, portanto, de solos de textura arenosa ou franco-arenosa para otimizar sua produção. Estes solos, contudo, são de baixa retenção hídrica e o manejo da água é imprescindível para melhor rendimento e economia no cultivo (SANTOS & GONDIM, 2006).

Os principais produtores de amendoim são pequenos agricultores que muitas vezes não têm acompanhamento técnico de orientação para fazer a calagem, plantar em espaçamento mais adequado fazer os tratos culturais de maneira correta, conforme salienta BARRETO et al., (2006), onde abordam que o sistema de produção típico é o de agricultura familiar, com pouco uso de insumos ou mecanização.

De acordo com PEIXOTO et al., (2008), na Bahia, em especial no Recôncavo Baiano, cerca de 80% da produção obtida é destinada ao mercado de consumo *in natura*, como amendoim torrado ou cozido, gerando empregos diretos e indiretos, uma vez que o produto na sua maioria é comercializado em feiras livres, festas juninas, festas de largos, praias, etc., conferindo grande importância no contexto socioeconômico dessa Região.

Um dos principais fatores que oferece restrições para os cultivos agrícolas nos trópicos está relacionado à acidez dos solos. Segundo SOUSA & LOBATO (2004) os solos brasileiros apresentam um nível de acidez considerável, com a presença de alumínio em níveis prejudiciais ao desenvolvimento dos vegetais, além de apresentarem teores reduzidos de cálcio e magnésio trocáveis, demonstrando com isso situações prejudiciais ao desenvolvimento das culturas.

A toxicidade do alumínio é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento das plantas em solos ácidos. Pelo fato da utilização de corretivos da acidez do solo não ser a estratégia mais viável em muitas situações com solos ácidos (por razões técnicas e econômicas), o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao alumínio tem sido o caminho mais focado, assim a investigação dos mecanismos de tolerância bem como as bases genéticas deste elemento têm merecido atenção especial pela pesquisa científica (HARTWIG et al., 2007). Além disso, o alumínio pode afetar a absorção de água e de nutrientes pelas raízes das plantas por meio da redução do comprimento radicular total (GIANNAKOULA et al., 2008).

A baixa mobilidade do íons alumínio nas planta causa maiores efeitos biológicos nas raízes (GIAVENO et al., 2001). Além disso, influencia a absorção de elementos essenciais, como P, Ca e Mg (LÓPEZ-BUCIO et al., 2000).

A acidez do solo torna o alumínio disponível para atuar nos sistemas radiculares da maioria das culturas (TOMAR, 2001), já que o nível alto de acidez no solo resulta na dissolução de minerais de argila e óxidos de alumínio, ocasionando o aparecimento da forma trocável, sendo a disponibilidade deste elemento, para algumas espécies, um fator limitante na produtividade da cultura, em solos ácidos (BONATO et al., 2000). O acúmulo de alumínio ocorre, preferencialmente, no sistema radicular das plantas, reduzindo então seu crescimento e desenvolvimento, causando um aumento no diâmetro das raízes e diminuição do número de raízes laterais.

MIGUEL et al., (2010), avaliaram que o alumínio, em solos ácidos, é um dos principais responsáveis pela baixa produtividade das culturas, constituindo um fator limitante ao crescimento das plantas. O sintoma mais evidente do efeito nocivo dos níveis tóxicos de alumínio é a redução no crescimento radicular de plantas sensíveis, o que impede a planta de obter água e nutrientes em profundidade pelo seu enraizamento superficial.

GONDIM (2006), recomenda que o solo para a cultura do amendoim deve ter pH na faixa de 6,0 a 6,2. O suprimento de cálcio é imprescindível para enchimento e formação das vagens e pode ser atendido através da calagem. MALAVOLTA (2006), identificou que devido ao excesso do alumínio na região meristemática da ponta da raiz há um número elevado de células com dois núcleos que demonstrando paralisação da divisão celular.

FREITAS et al., (2006), concluíram que existem correlações entre teores de alumínio na solução nutritiva e a absorção de fósforo, magnésio, cálcio e potássio e o desenvolvimento do sistema de raízes em genótipos de arroz.

As pesquisas no âmbito nacional acerca da nutrição e especificamente sobre a tolerância de plantas de amendoim ao alumínio são ainda insuficientes. Diante deste quadro, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de alumínio em solução nutritiva no crescimento e produção de biomassa de plantas de amendoimzeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia no período de maio a julho de 2011. A planta utilizada foi o amendoimzeiro (*Arachis hypogaea* L.), cv. Vagem Lisa, cujo ciclo vegetativo é de 90-100 dias.

A semeadura foi realizada em vasos de polietileno com capacidade para 3 dm<sup>3</sup>. O substrato utilizado foi areia lavada, utilizando quatro sementes por vaso. Sete dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste permanecendo apenas duas plantas por vaso até o final do experimento.

Após 11 DAE, as plantas foram submetidas à rega com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), diluída a 50%, sendo aplicada diretamente no substrato. Aos 20 DAE foi aplicada em cada vaso solução completa modificada de HOAGLAND & ARNON (1950), juntamente com a aplicação das seguintes doses de alumínio: 0; 27; 54; 108; 216 e 432 (mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>), utilizando como fonte o cloreto de alumínio. A água destilada utilizada para preparo das soluções apresentou pH 6 e condutividade elétrica 0,004 (MS cm<sup>-1</sup>). Para a formulação das soluções a quantidade de fósforo foi diminuída em 10 vezes, com o objetivo de evitar a complexação com o alumínio (Tabela 1). Foi medido o pH da solução, utilizando-se de um pHmetro digital, a condutividade elétrica (CE) por meio de um condutivímetro digital e por fim foi calculada a pressão osmótica (PO) das soluções (Tabela 2) através da fórmula proposta por Van Hóff (JONES JUNIOR, 1983). As plantas permaneceram submetidas aos tratamentos com solução modificada durante 20 dias.

Utilizando-se o aparelho clorofiLOG do fabricante Falker, modelo CFL1030 foi avaliado os teores de clorofila, antes e depois da aplicação dos tratamentos, sendo realizadas cinco medições por planta, onde foram utilizadas em média 10 folhas por planta. Também procedeu-se a identificação visual dos sintomas de toxidez de alumínio nas plantas.

Para análise de crescimento foram coletados dados de altura da parte aérea e comprimento das raízes, utilizando régua milimetrada. Para determinação da área foliar foram destacados todos os folíolos de cada planta e separados em sacos de papel devidamente identificadas, com a utilização do medidor portátil de área foliar modelo AM 300 da ADC BioScientific Ltda que ao dispor os folíolos sem sobreposições e fazer o escaneamento manual mostra a área total dos folíolos escaneados.

Ao final do período experimental as plantas foram particionadas (folhas, hastes e raízes). Para coleta das raízes os vasos foram preenchidos com água saturando o substrato para facilitar a remoção das plantas que foram lavadas cuidadosamente em bandeja com água para não haver perda das radículas e posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e colocadas em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C durante 72 horas. Após a secagem foram

quantificados os rendimentos de massa seca das folhas, hastes e raízes, com auxílio de balança analítica de precisão.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ( $P < 0,05$ ), e para as variáveis significativas foram realizados estudos de regressão polinomial utilizando o programa estatístico SISVAR 4.6® (FERREIRA, 2008).

**TABELA 1-** Volume (mL) retirados das soluções estoque para formar 1 L de solução nutritiva modificada, seguindo os respectivos tratamentos com as doses de alumínio

Solução Estoque (Mol L <sup>-1</sup> )	Concentração de alumínio mg L <sup>-1</sup>					
	0	27	54	108	216	432
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1M)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
AlCl <sub>3</sub> (1M)	0	1	2	4	8	16
MgSO <sub>4</sub> (1M)	2	2	2	2	2	2
KNO <sub>3</sub> (1M)	5	5	5	5	5	5
KCl	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (1M)	5	5	5	5	5	5
Ferro-EDTA*	1	1	1	1	1	1
Micronutrientes**	1	1	1	1	1	1

\*Solução de Ferro-EDTA: Foram dissolvidos 26,1g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1N + 24,9g de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e aerado por uma noite.

\*\*Solução de micronutrientes (g/l): H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> = 2,86; MnCl<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O = 1,81; ZnCl<sub>2</sub> = 0,10; CuCl<sub>2</sub> = 0,04; H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O = 0,02.

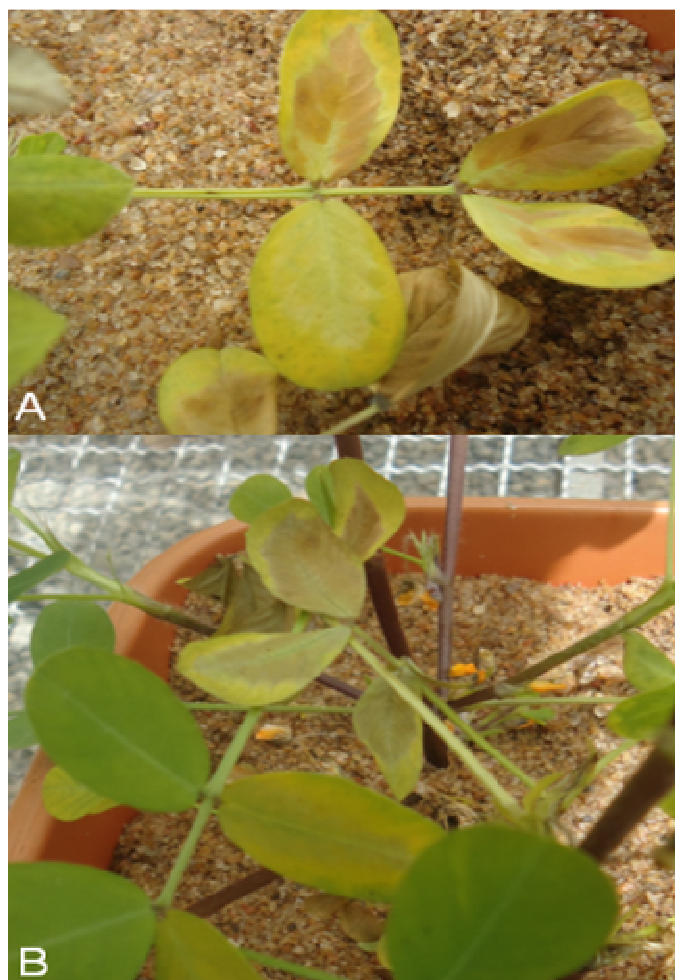
**TABELA 2 –** Valores de pH, pressão osmótica e condutividade elétrica das soluções nutritivas.

Variável	Concentração de alumínio mg L <sup>-1</sup>					
	0	27	54	108	216	432
pH	5,1	3,7	3,4	3,3	3,2	3,1
PO	0,60	0,69	0,79	0,98	1,37	2,14
CE	1,63	1,85	2,06	2,45	3,20	4,65

pH- Potencial hidrogeniônico PO- Pressão osmótica (atm) CE- Condutividade elétrica em miliSiemens por centímetro (mS cm<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de amendoim apresentaram sintomas de toxidez após 48 horas quando submetidas aos tratamentos com doses de alumínio: 108, 216 e 432 mg L<sup>-1</sup>. Inicialmente foi observado a clorose internerval sendo que a concentração de 432 mg L<sup>-1</sup> apresentaram sintomas mais intensos que posteriormente evoluíram para necrose e abscisão das folhas, reduzindo a área foliar, teor de clorofila e retardando o crescimento radicular (Figura 1).



**FIGURA 1** – Efeito da toxidez de alumínio no tratamento com  $432 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio em plantas de amendoim. Cruz das Almas, 2011.

Houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) no teor de clorofila nas folhas das plantas de amendoim em função do alumínio aplicado. O teor de clorofila das plantas de amendoim, com omissão de alumínio na solução, variou em torno de 29% quando comparado com o tratamento de  $432 \text{ mg L}^{-1}$  (tabela 3).

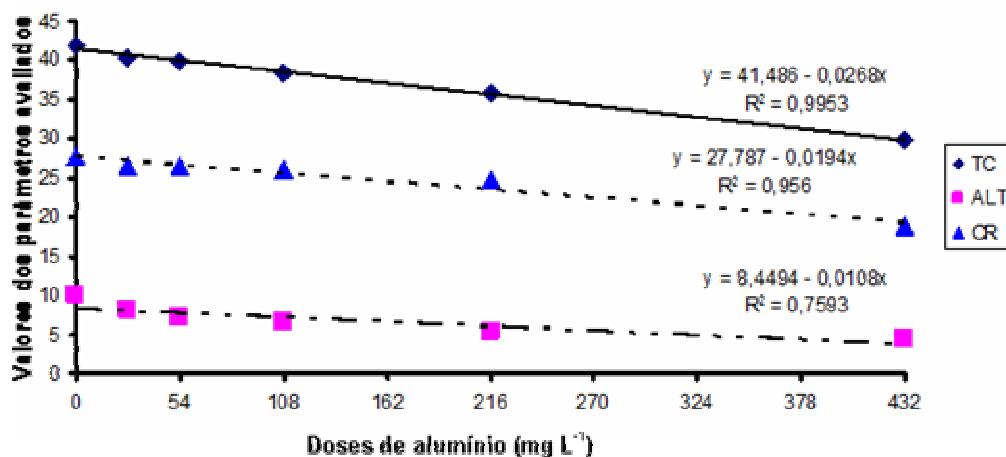
**TABELA 3** – Valores médios dos parâmetros avaliados em plantas de amendoim submetidas a diferentes doses de alumínio em solução nutritiva.

Variáveis	Doses de alumínio ( $\text{mg L}^{-1}$ )						CV (%)	PR>F
	0	27	54	108	216	432		
<b>TC</b>	41,98	40,43	39,85	38,45	35,88	29,90	5.38	0.0000
<b>ALT</b>	10,06	8,07	7,34	6,44	5,26	4,51	21.31	0.0007
<b>CR</b>	27,83	26,58	26,50	26,00	24,75	18,83	11.40	0.0045
<b>AF</b>	420,9	406,23	370,00	351,00	348,75	206,88	18.10	0.0024

**TC**- Teor de clorofila; **ALT**- Altura das plantas (cm); **CR**- Comprimento das raízes (cm); **AF**- Área Foliar ( $\text{cm}^2$ ).

Com o aumento da dose de alumínio na solução houve uma queda no teor de clorofila nas folhas, pois o principal sintoma observado foi a clorose que é o

amarelecimento das folhas que conseqüentemente interferiu nesta redução. As equações mais ajustadas para estimar o efeito dos teores de alumínio sobre o teor de clorofila, altura e comprimento de raízes das plantas de amendoim, apresentaram comportamento linear decrescente, indicando que o aumento da concentração de alumínio na solução, diminuiu os valores das variáveis analisadas (Figura 2).



**FIGURA 2** – Efeito do íon alumínio sobre: **TC**- Teor de clorofila; **ALT**- Altura das plantas (cm); **CR**- Comprimento das raízes (cm), em plantas de amendoim cultivadas em solução nutritiva.

Os resultados encontrados neste trabalho para teor de clorofila são semelhantes aos de CRUZ et al., (2008), que estudaram o efeito da toxidez de alumínio em plantas de sorgo e observaram que os teores de clorofila a, b e total foram reduzidos proporcionalmente pelo alumínio presente na solução nutritiva sendo que as concentrações mais elevadas apresentaram redução com maior intensidade nos teores de clorofilas nas folhas.

TABALDI et al., (2007), estudando as respostas fisiológicas e de estresse oxidativo de quatro clones de batata, submetidos ao alumínio em solução nutritiva, observaram que em todos os clones a concentração de clorofila variou curvilinearmente em relação ao suprimento de alumínio; nos clones sensíveis, a concentração de clorofila diminuiu pela adição de alumínio em níveis acima de 100 mg L<sup>-1</sup>.

Provavelmente a redução do teor de clorofila nas plantas foi conseqüência do efeito tóxico do alumínio que ao entrar na planta destrói a parede celular levando ao rompimento e destruição da célula nas folhas além de apresentar inicialmente a clorose avançando para necrose e abscisão das folhas.

Houve diferença significativa (P<0,01) na altura das plantas com o aumento da concentração de alumínio nas soluções. A altura média das plantas variaram do tratamento controle para o tratamento com 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio em torno de 55% (Tabela 3).

Os resultados encontrados por CRUZ et al., (2008), relatam que o crescimento da parte aérea das plantas de sorgo representado pela altura das plantas, sofreu uma redução pela ação das doses crescentes de alumínio e o decréscimo mais acentuado foi observado no tratamento de 150 M de alumínio. Isto significa que independente da cultura os altos teores de alumínio no solo afeta o crescimento das plantas.

SALVADOR et al., (2000), estudando a influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira, observaram que concentrações de alumínio abaixo de  $10,0 \text{ mg L}^{-1}$  aumentaram a altura da planta e a área foliar, respectivamente, aos 30 e 90 dias de cultivo em solução nutritiva.

SANTOS et al., (2010), em estudos com rúcula em diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva observaram variação de 101% da testemunha para sua maior dose que foi  $60,0 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio. As plantas de amendoim submetidas ao tratamento com  $54 \text{ mg L}^{-1}$  de alumínio quando comparadas com a controle apresentaram diferença de 73% no tamanho das plantas.

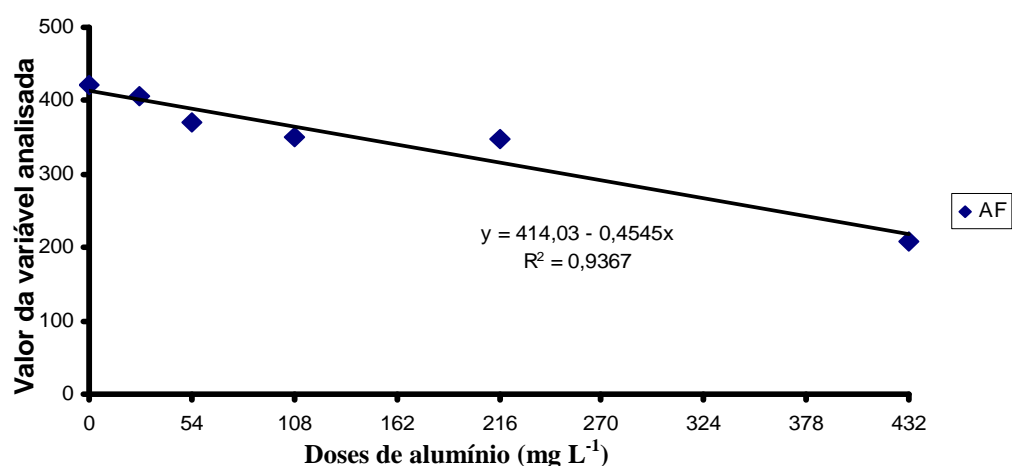
O comprimento de raízes do amendoimzeiro apresentou diferença significativa ( $P < 0,01$ ), em função do aumento da concentração do íon alumínio na solução nutritiva. O comprimento das raízes das plantas de amendoim submetidas a solução sem alumínio variou quando comparado com o tratamento  $432 \text{ mg L}^{-1}$  em torno de 32% (tabela 3), diferença esta que pode ser visualizada na figura 2. A equação estimada para representar o efeito dos teores de alumínio sobre o parâmetro crescimento das raízes apresentou tendência linear decrescente.

Resultados semelhantes foram obtidos por VELOSO et al., (1995), que estudaram os efeitos do alumínio em pimenteiras do reino cultivadas em solução nutritiva que promoveu o retardamento no crescimento radicular, com aumento no diâmetro das raízes. Para o comprimento das raízes, esses autores verificaram que não houve diferença significativa na presença do alumínio.

SANTOS et al., (2010), constataram que plantas de rúcula submetidas a diferentes concentrações de alumínio apresentaram limitação no comprimento das raízes à medida que se aumentavam as doses de alumínio na solução.

FORTUNATO et al., (2004), estudando a toxidez de alumínio em plântulas de grábia observaram que tanto no 7º como no 11º dia após o transplante, as diferentes concentrações de alumínio não proporcionaram alterações significativas com relação à altura de planta, comprimento da raiz principal, comprimento total das raízes, número de raízes secundárias, comprimento médio de raízes secundárias.

MACEDO et al., (2011), concluíram que as doses de alumínio afetaram o crescimento das raízes para todas as procedências em plantas de pinhão manso. Foi observado efeito significativo ( $P < 0,01$ ), da concentração de alumínio sobre a área foliar das plantas de amendoim, apresentando decréscimo com o aumento das doses de alumínio. A equação representativa do parâmetro área foliar das plantas de amendoim submetidas a doses crescentes de alumínio em solução nutritiva apresentou tendência linear decrescente (Figura 3).



**FIGURA 3** – Efeito do íon alumínio sobre AF- Área Foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de amendoim cultivadas em solução nutritiva.

A variável área foliar da testemunha variou quando comparada aos valores da omissão de alumínio com o tratamento 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio, significando 51% de diferença (Ilustrações 5 e 6). Os resultados encontrados por CRUZ et al., (2008), confirmam os resultados encontrados neste experimento ao concluírem que o crescimento da parte aérea das plantas de sorgo representado pela altura das plantas, sofreu uma redução pela ação das doses crescentes de alumínio. MAZZOCATO et al., (2002), estudando a tolerância de plântulas de milho ao alumínio observaram redução na parte aérea das plântulas e em suas raízes.

Analisando o desenvolvimento da área foliar de rúcula em diferentes concentrações de alumínio, SANTOS et al., (2010), verificaram que a mesma apresentou redução da área foliar à medida que se aumentavam as doses de alumínio tóxico.

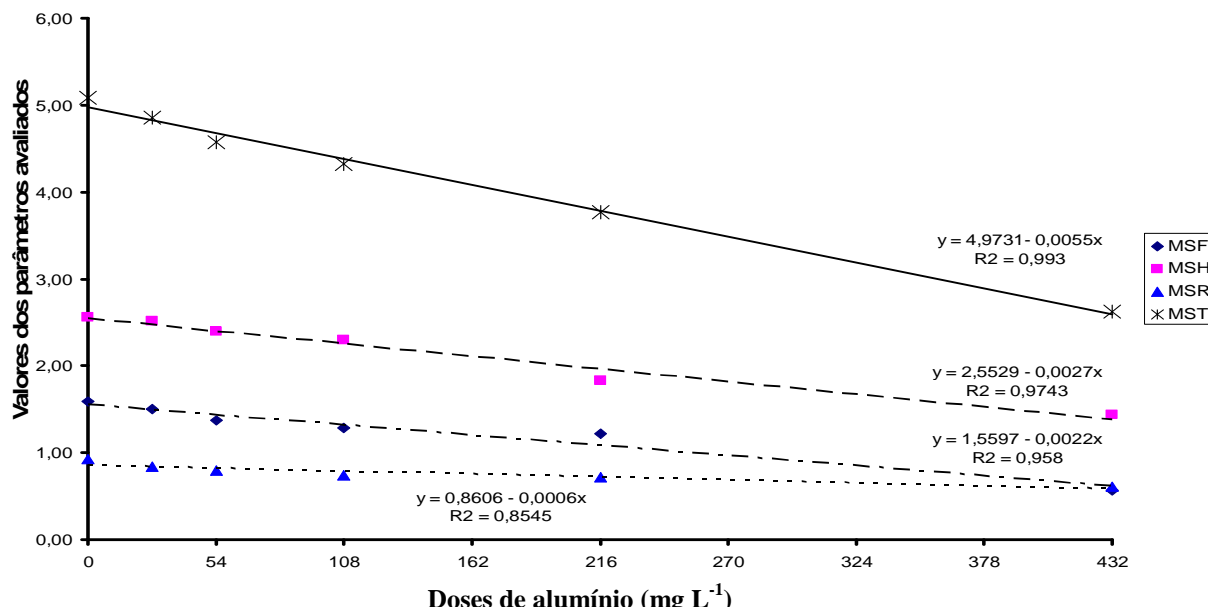
Houve diferença significativa (P<0,01) para a variável massa seca das folhas (MSF) do amendoimzeiro, com o aumento da concentração de alumínio nas soluções. O tratamento com 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio teve uma diferença em torno de 64% quando comparado com o tratamento controle (Tabela 4).

**TABELA 4** – Valores médios de massa seca de diferentes partes de plantas de amendoim submetidas a doses de alumínio em solução nutritiva. Cruz das Almas, 2011.

Variáveis	Doses de alumínio (mg L <sup>-1</sup> )						CV (%)	PR>F
	0	27	54	108	216	432		
<b>MSF</b>	1,59	1,50	1,37	1,28	1,22	0,57	8,22	0,0000
<b>MSH</b>	2,56	2,52	2,40	2,30	1,83	1,44	15,31	0,0008
<b>MSR</b>	0,93	0,84	0,80	0,74	0,72	0,61	21,24	0,1573
<b>MST</b>	5,08	4,86	4,57	4,32	3,77	2,62	11,04	0,0000

**MSF**- Massa seca das folhas **MSH**- Massa seca das hastes, **MSR**- Massa seca das raízes e **MST**- Massa seca total.

A equação mais ajustada para representar o efeito dos teores de alumínio sobre a massa seca das folhas, massa seca das hastes, massa seca das raízes e massa seca total das plantas de amendoim, observou-se que para a variável massa seca das folhas a equação apresentou comportamento linear decrescente (Figura 4).



**FIGURA 4** – Efeito do íon alumínio sobre **MSF**- Massa seca das folhas; **MSH**- Massa seca das hastes, **MSR**- Massa seca das raízes e **MST**- Massa seca total em plantas de amendoim cultivadas em solução nutritiva.

Os resultados encontrados para massa seca das folhas corroboram com os resultados obtidos por SANTOS et al., (2010), que observaram limitações na massa seca de folhas de rúcula para as doses crescentes de alumínio com redução de 149,7% do controle para o tratamento 60,0 mg L<sup>-1</sup>. Os resultados de massa seca das folhas têm uma relação direta com o aumento das doses de alumínio que influenciaram a altura da planta e a área foliar que conseqüentemente refletiram negativamente o resultado da massa seca das folhas. VELOSO et al., (1995), observaram que em pimenteiros do reino o peso da matéria seca das folhas apresentou efeito positivo do alumínio até a dose de 15 mg L<sup>-1</sup>. FORTUNATO et al., (2004), estudando a toxidez de alumínio em plântulas de grábia observaram que tanto no 7º como no 11º dia após o transplântio, as diferentes concentrações de alumínio não proporcionaram alterações significativas com relação à massa seca de raízes, massa seca da parte aérea e a relação entre a massa de raízes e da parte aérea.

LIMA et al., (2003) estudando a saturação por alumínio e sua relação com o cálcio para a cultura da soja em dois tipos de solos de cerrado, verificaram que ambos os solos, apresentaram efeito significativo (P<0,05) da saturação por alumínio sobre a produção de massa seca da soja.

A massa seca das hastes (MSH) apresentou efeito negativo com o aumento da concentração do alumínio em solução nutritiva apresentando efeito significativo (P<0,01), a equação estimada para representar o efeito dos teores de alumínio sobre a massa seca das hastes das plantas de amendoim apresentou comportamento linear decrescente (Figura 4).

O tratamento com 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio teve diferença de 44% quando comparado ao controle (Tabela 4). Os valores decrescentes de MSH podem ter correlação direta com o efeito significativo na altura das plantas com o aumento do íon alumínio na solução nutritiva.

MACEDO et al., (2011) estudando o efeito do alumínio em plantas de pinhão manso não observaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para as variáveis massa seca de parte aérea e crescimento inicial da raiz.

SANTOS et al., (2010), observaram uma variação de 159% da massa seca das hastes de plantas de rúcula em relação ao tratamento controle, que apresentou um peso médio total de 0,1075 g de matéria seca. PEREIRA et al., (2008), estudando o efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo observaram que o alumínio absorvido pelas plantas acumula-se predominantemente nas raízes, mas modifica significativamente o metabolismo e o fracionamento do P tanto nas raízes quanto na parte aérea das plantas das duas cultivares.

Não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) para a variável massa seca das raízes com o aumento do teor de alumínio, o tratamento controle variou em torno de 34% quando comparado com o tratamento de 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio. Os resultados encontrados são contrários aos obtidos por SANTOS et al., (2010), que constataram que a massa seca de raízes de rúcula teve na máxima concentração testada de 60,0 mg L<sup>-1</sup> quando comparado com o tratamento controle observaram a variação de 55%.

PEREIRA et al., (2008), verificaram que o alumínio limitou o crescimento da raiz seminal e a produção de massa seca de raízes e parte aérea em duas cultivares de sorgo e que as limitações no crescimento da raiz seminal e na produção de matéria seca da parte aérea causadas pelo alumínio foram, em média, 31% e 47% respectivamente, não tendo as cultivares diferido entre si.

LIMA et al., (2007), estudaram a tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio e observaram que a massa seca da raiz apresentou redução linear com o aumento do teor de alumínio no solo.

O resultado da MSR se diferencia do obtido para CR, pois no tratamento que tiveram menores tamanhos as raízes apresentaram-se com sintomas característicos da toxidez conforme os caracterizados por MIGUEL et al., (2010) que revisaram e discutiram sobre alguns impactos causados pelo alumínio em solos ácidos e viram que as raízes apresentam engrossamento e amarelamento nas pontas, degeneradas, tortuosas, com ramificações secundárias, escuras em parte pela oxidação de compostos fenólicos e com poucos pêlos absorventes. Além disso, quando expostas ao cátion, há desintegração dos tecidos da epiderme e de porções externas do córtex nos ápices das raízes, ficando as células enrugadas e em casos de maior gravidade colapsadas.

Houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) da massa seca total (MST) que foi a soma da massa seca das diferentes partes das plantas de amendoim (folha, haste e raiz), a equação representativa da massa seca total das plantas de amendoim submetidas a doses crescentes de alumínio em solução nutritiva apresentou tendência linear decrescente (Figura 4).

O tratamento controle variou em torno de 48% quando comparado com o tratamento de 432 mg L<sup>-1</sup> de alumínio (tabela 4). Os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados por CRUZ et al., (2008), que observaram que o alumínio presente na solução afetou o acúmulo de massa seca do colmo, folhas e

raízes e conseqüentemente na massa seca total das plantas de sorgo estudadas.

MENDONÇA et al., (2005), estudando cultivares de arroz concluíram que o alongamento e produção de matéria seca de raízes e folhas reduziram-se em presença do alumínio na solução. Resultados semelhantes também foram obtidos por MATTIELLO et al., (2008), estudando o crescimento radicular e a absorção de cálcio, fósforo e alumínio em plantas de cafeeiros. Observaram que as cultivadas nas maiores atividades de alumínio apresentaram sintomas característicos de toxidez, como retardamento do crescimento radicular, parte aérea, redução do número de raízes laterais, maior diâmetro dos eixos radiculares e que os teores de alumínio são maiores nas raízes, seguidos por folhas e caules. Concluíram que o acúmulo de alumínio no sistema radicular e a restrição do transporte para a parte aérea são importantes fatores na maior tolerância de plantas ao alumínio. SANTOS et al., (2010), observaram diferença significativa na massa seca total em plantas de rúcula que apresentou redução na fitomassa total à medida que foram aumentadas as doses de alumínio.

Com o aumento das concentrações do cloreto de alumínio na solução nutritiva observou-se que há decréscimo no pH, o potencial osmótico assim como a condutividade elétrica tem comportamento contrário, pois os valores são crescentes, isso ocorreu devido a concentração de sais na solução que influenciou diretamente o potencial osmótico e a condutividade elétrica que é quantificada pela capacidade da solução em conduzir energia de um eletrodo para célula de condutividade elétrica imersos na solução e com o aumento da concentração de íons na solução aumenta a condutividade da mesma (Tabela 2).

FURLANI et al., (2009), discorrem que uma grande parte das soluções nutritivas não tem capacidade tampão, dessa forma o pH varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e valores superiores a 6,5 deve-se ter atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn.

FAGERIA (2000), estudando o efeito do pH do solo sobre a absorção de nutrientes por três cultivares de arroz. A produção de matéria seca e de grãos, os componentes de produção e a absorção de nutrientes foram significativamente influenciados pelo pH do solo. A faixa com pH adequado para a produção e para os componentes de produção variou entre 5 e 5,4.

A maior parte dos nutrientes (K, Ca, Mg, N, S, B e P) estão menos disponíveis em valores baixos de pH e alguns, como Fe, Cu, Mn e Zn mostram comportamento inverso. A primeira propriedade que afeta o equilíbrio solo/planta é o nível de H<sup>+</sup> (atividade) na solução do solo, o qual é alto nos solos ácidos. Esta situação é refletida pelo baixo valor do pH (usualmente entre 4,5 e 5,5) e pela alta porcentagem de saturação de alumínio no complexo de troca, causando um decréscimo na disponibilidade de nutrientes, prejudicial para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (SILVA & SOUZA, 1998).

SOUZA FILHO et al., (2000) analisando os efeitos da variação do pH sobre o desenvolvimento e os teores dos nutrientes: fósforo, potássio, cálcio e magnésio acumulado na parte aérea e nas raízes do capim-marandu e planta daninha malva (*Urena lobata*), utilizando soluções nutritivas com os seguintes valores de pH: 3,5; 4,5; 5,5; e 6,5, observaram que a gramínea apresentou maior sensibilidade às variações do pH, tendo sido a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes sempre crescente em função do aumento do pH e apresentou maior habilidade para

absorver nutrientes em pH 6,5.

TAIZ & ZEIGER (2009), apontam que a redução no potencial osmótico, provocada pelo aumento da salinidade, e conseqüentemente no potencial hídrico causa inibição do crescimento vegetal e da fotossíntese, acúmulo excessivo de íons, causando toxicidade, inibição da divisão celular e da síntese de proteínas, com reflexos na redução da área foliar.

BECKMANN-CAVALCANTE et al., (2010), estudando a condutividade elétrica da solução nutritiva para o cultivo do Crisântemo verificaram que o aumento da CE inibiu o crescimento e desempenho vegetativo, mas estimulou o diâmetro da haste e estimulou a lixiviação dos sais, exceto o diâmetro da haste, o maior crescimento avaliado pelas demais variáveis fitotécnicas. A CE de 2,1 dS m<sup>-1</sup> possibilitou a produção de crisântemo dentro de padrões qualitativos de comercialização, mediante lixiviação periódica do substrato.

FURLANI et al., (1997), em instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia, verificaram que as soluções apresentam níveis altos de força iônica, com recomendações de condutividade elétrica variando de 1,4 a 2,5 mS cm<sup>-1</sup> para o cultivo da alface.

COSTA et al., (2001), estudaram a condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de alface em hidroponia e discorrem que a variação da condutividade elétrica da solução nutritiva altera a absorção de água e nutrientes pelas plantas, interferindo no metabolismo e, conseqüentemente, na produção das mesmas chegando à conclusão que o diâmetro e altura da cabeça e peso seco da raiz não foram influenciados pelas condutividades elétricas da solução nutritiva, mas que os maiores pesos do material fresco e seco foram conseguidos com CE 2,46 (± 0,24) mS cm<sup>-1</sup>.

Observou-se com base nos resultados obtidos que para a cultura do amendoim cultivado em solução nutritiva os melhores resultados obtidos para teor de clorofila; altura das plantas; área foliar; comprimento das raízes; massa seca das folhas; massa seca das hastes; massa seca das raízes e massa seca total foram observados os melhores resultados no pH 5,1, potencial osmótico 0,6 e condutividade elétrica da solução de 1,63 mS cm<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÕES

O teor de clorofila, a área foliar, o comprimento das raízes, a altura das plantas, massa seca das hastes e massa seca total de plantas de amendoim foram afetados com o aumento da concentração do íon alumínio em solução nutritiva.

A presença do alumínio não afetou de maneira significativa a produção de massa seca das raízes das plantas de amendoim.

As diferentes concentrações de alumínio (AlCl<sub>3</sub>) nas soluções nutritivas diminuíram o pH, aumentou o potencial osmótico e a condutividade elétrica.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. A. **Manual da cultura do amendoim**. 1ª ed. Viçosa: Agrojuris, 2008. 140p.

BARRETO, A. N. Cultivo do Amendoim. Embrapa Algodão. **Sistemas de Produção, No. 7**. Dezembro de 2006. Versão Eletrônica. Acessado em: 01 de maio de 2011.

BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; PIVETTA, K. F. L.; CAVALCANTE, Í. H. L.; CAVALCANTE, L. F.; BELLINGIERI, P. A.; CAMPOS, M. C. C. Condutividade Elétrica da Solução Nutritiva para o Cultivo do Crisântemo em Vaso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 34, p. 747-756, 2010.

BONATO, C. M.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, V.; VENEGAS, H. A. Efeito do alumínio sobre a absorção, a partição e a utilização de enxofre em sorgo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.12, n. 1, p. 17-24, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento**. Brasília-DF, abril de 2011.

COSTA, P. C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade Elétrica da Solução Nutritiva e Produção de Alface em Hidroponia. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.595-597, 2001.

CRUZ, F. J. R.; COSTA, R. C. da.; BARRETO, A. G. T.; NETO, C. F. de O.; CAMARGO, P. M. P.; MECANISMOS BIOQUÍMICOS E FISIOLÓGICOS DA TOXIDAZ DE ALUMÍNIO (AL<sup>3+</sup>) EM PLANTAS SORGO [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: VI Seminário de Iniciação Científica/UFRA e XII Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA/Amazônia Oriental **Anais...** Belém-Pará, 2008.

FAGERIA, N. K. Resposta de Arroz de Terras Altas à Correção de Acidez em Solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35 n. 11, 2000.

FERREIRA, D. F.; SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras-MG, v. 6, p. 36-41, 2008.

FORTUNATO, R. P.; NICOLOSO, F. T.; Toxidez de alumínio em plântulas de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, 2004.

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.72- 79, 2006.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva**. 2009.

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia -NFT. Campinas, Instituto Agronômico. **Boletim técnico**, 168. 30 p. 1997.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M; MYLONA, P.; PAPADAKIS, I.; YUPSANIS, T. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and al accumulation. **Jornal of Plant Physiology**, v.165, n.4, p.385-396, 2008.

GIAVENO, G. D.; MIRANDA-FILHO, J. B.; FURLANI, P. R. Inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v. 55, n. 1, p.5 1-55, 2001.

GONDIM, M. de S. Cultivo do Amendoim. Embrapa Algodão. **Sistemas de Produção, No. 7**. Dezembro de 2006. Versão Eletrônica. 01 de maio de 2011.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; JOSÉ SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. R. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**, 1950 (Circ. n.347).

JONES JUNIOR, J. B. **A guide for hydroponics and soilless culture grower**. Beaverton: Timber, 124 p. 1983.

LAZARINI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade do amendoim da seca em função do sistema de produção e da época de semeadura. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 75, n. 03, p. 287-301, 2000.

LIMA, D. V.; KLIEMANN, H. J.; FAGERIA, N. K.; MORAES, M. F. de; LEANDRO, W. M.; SEVERIANO, E. da C. Saturação por Alumínio e Relação Al/Ca para a Cultura da Soja em Solos de Cerrado. **Revista Agricultura Tropical**, Cuiabá, v.7, n.1, p.106-118, 2003.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZZETA, J. O.; SAMPAIO, L. R.; LEÃO, A. B.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, M. A. O.; SILVA, L. V. B. D. Tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: DF: MCT/ABIPTI, 2007.

LÓPEZ-BUCIO, L.; NETO JACOBO, M.F.; RAMIREZRODRIGUES, V. & HERRARA-ESTELLA, L. Organic acids metabolism in plants: From adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. **Plant Science**, v. 160, p.1-13, 2000.

MACEDO, F. L. de; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A. da; BARRETO, M. C. de V.; MANN, R. S. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.

MATTIELLO, E. M. PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *coffea canephora* e *coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** [online], v. 32, n.1, p. 425-434, 2008

MAZZOCATO, A.C.; ROCHA, P.S.G.; SERENO, M.J.C.M.; BOHNEN, H.; RONGO, V.; NETO, J.F.B. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n1, p. 19-24, 2002.

MENDONÇA, R. J. de. CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; OLIVEIRA, J. A. Capacidade de cultivares de arroz de modificar o pH de soluções nutritivas na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.447-452, 2005.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, M. F. T.; ROCHA, W. S. D. da; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A. de; OLIVEIRA, A. V. de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Centro de Ensino Superior Revista** v. 24. Juiz de Fora, 2010.

PEIXOTO, C. P.; GONÇALVES, J. A.; PEIXOTO, M. F. S. P.; CARMO, D. O. DO. Características agronômicas e produtividade de amendoim em diferentes espaçamentos e épocas de semeadura no Recôncavo Baiano. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 563-568, 2008.

PEREIRA, J. M.; CAMBRAIA, J.; FONSECA JÚNIOR, É. M. DA; C. RIBEIRO. Efeito do Alumínio Sobre a Absorção, o Acúmulo e o Fracionamento do Fósforo em Sorgo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.961-967, 2008.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.787-796, 2000.

SANTOS, C. A. C. dos; ALMEIDA, J. de; SANTOS, A. R. dos; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO C. P.; Rúcula em Cultivo Hidropônico Submetida a Diferentes Concentrações de Alumínio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 905-912, 2010.

SANTOS, R. C. dos & GONDIM, T. M. de S. Cultivo do Amendoim. Embrapa Algodão. **Sistemas de Produção, No. 7**. Dezembro de 2006. Versão Eletrônica. Acessado em: 01 maio 2011.

SILVA, C. R. & SOUZA, Z. M. Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: Manejo de nutrientes e uso pelas plantas. Ilha Solteira, Universidade Estadual de São Paulo, 1998. (Caderno Didático).

SOUSA, D.M. & LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA FILHO, A. P. S.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. Capacidade de absorção de nutrientes do capim-mMarandu (*Brachiaria brizantha*) e da planta daninha malva (*Urena lobata*) em função do pH. **Planta daninha** [online]. Londrina, vol.18, n.3, pp. 443-450, 2000.

SUASSUNA, N. D.; COUTINHO, W.M.; SANTOS, R.C. dos. & GONDIM, T.M.F. de S. Cultivo do Amendoim. Embrapa Algodão. **Sistemas de Produção, No. 7**. Dezembro de 2006. Versão Eletrônica. Acessado em: 01 de maio de 2011.

TABALDI, Luciane A. et al. **Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution**. *Braz. J. Plant Physiol.* [online].

2007, vol.19, n.3, pp. 211-222. Acessado em: 01 maio 2011.

TAIZ L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 2009. 820p.

TASSO JÚNIOR, L. C. MARQUES, M.O. NOGUEIRA, G. A. L. **A cultura do amendoim**. Jaboticabal: UNESP, 2004, 218 p.

TOMAR, J. B. Rainfed upland rice-problems and prospects. **Journal of Maharashtra Agricultural Universities**, Bombay, v. 26, n. 1, p. 81-87, 2001.

VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. e CARVALHO, J.G. de. Efeitos do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. **Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)** [online], v.52, n.2, p. 368-375, 1995.