



O CÁLCIO MINIMIZA O ESTRESSE POR ALÚMINIO EM MUDAS DE ABÓBORA?

Aglair Cardoso Alves¹; Sergio David Parra Gonzalez²; Fábio Nascimento de Jesus³; Daniela Carvalho Velame⁴; Anacleto Ranulfo dos Santos⁵.

1. Pós-graduanda em Agronomia (Solos e qualidade de ecossistemas) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (agro.aglair@yahoo.com.br)
2. Mestre em Solos e qualidade de ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
3. Pós-graduando em Agronomia (Ciências Agrárias) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
4. Pós-graduando em Agronomia (Ciências Agrárias) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
5. Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

A produtividade das culturas pode ser reduzida pela presença do alumínio no solo que provoca sintomas de toxidez nas plantas, a utilização do cálcio como alternativa para redução dos efeitos maléficos causados pela presença do alumínio em plantas tem sido apontada como uma solução para o problema. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de doses de cálcio na presença e na ausência de Al em solução nutritiva no crescimento inicial de plantas de abóboreira. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 X 2, sendo cinco doses de cálcio (0; 100; 200; 300 e 400 mg.L⁻¹) e duas doses de alumínio (0; 54 mg.L⁻¹). Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da parte aérea, comprimento e volume de raiz, diâmetro da haste e número de folhas, clorofila a e b e área foliar. Com auxílio do software Visual MINTEQ foi determinada a percentagem de alumínio, fósforo e cloro na solução nutritiva. o Cálcio (117 a 251 mg L⁻¹) propicia a redução dos efeitos deletérios do alumínio em mudas de abóbora.

PALAVRAS-CHAVE: crescimento inicial, interação Al e Ca, solução nutritiva, toxidez de alumínio.

CALCIUM IN SLIPS GOURD SUBMITTED TO TOXICITY SYNDROME IN ALUMINIUM

ABSTRACT

The crop yields can be reduced by the presence of aluminum in the soil that causes symptoms of toxicity in plants, the use of calcium as an alternative to reduce harmful effects caused by the presence of aluminum in plants has been suggested as a solution to the problem. Thus, the aim of the study was to evaluate the effect of different levels of calcium in the presence and absence of Al in nutrient solution on

the growth of plants gourd The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with four replications, in 5 X 2 factorial, with five levels of calcium (0, 100, 200, 300 and 400 mg l⁻¹) and two doses of aluminum (0, 54 mg l⁻¹). Shoot height, length and volume of root, stem diameter and number of leaves, chlorophyll b and leaf area: The following variables were evaluated. With the aid of software MINTEQ Visual percentage of aluminum, phosphorus and chlorine in the nutrient solution were determined. Calcium (117 - 251 mg L⁻¹) entails the reduction of the deleterious effects of aluminum on pumpkin seedlings.

KEYWORDS: aluminum toxicity, Al and Ca interactions, initial growth, nutrient solution.

INTRODUÇÃO

A abóboreira é uma planta pertencente à divisão Magnoliopyta, classe Magnoliopsida (Dicotiledôneas), subclasse Dilleniidae, ordem Violales, família Cucurbitaceae, tribo Cucurbitae, gênero *Cucurbita* (GRIN, 2013). Sabe-se que as abóboras são cultivadas em todo nacional assumindo um importante papel para a alimentação humana (AQUINO, 2010) em função do seu agradável paladar e qualidade nutritiva, pois apresentam diversos nutrientes como: ácido ascórbico, b-caroteno (Provitamina A), açúcares, proteínas. No Brasil, especificamente na região Nordeste, concentram-se os maiores produtores desta cultura, agrupando também os maiores estados consumidores, como Pernambuco, Piauí, Maranhão e Bahia (RAMOS et al., 2010).

Os solos brasileiros geralmente apresentam uma concentração significativa de alumínio em níveis prejudiciais ao desenvolvimento dos vegetais, além disso, verifica-se teores reduzidos de cálcio e magnésio trocáveis (AQUINO, 2013). De acordo com CAIRES, (2013) estas características quando presentes no solo limitam a produção agrícola de forma considerável em diferentes áreas do mundo.

Sabe-se que a toxidez causada por alumínio e a deficiência de cálcio constituem em um dos principais fatores que têm limitado a produtividade de solos ácidos em regiões tropicais e subtropicais. Normalmente a principal forma de correção destes problemas causados pela acidez do solo constitui-se no aumento da disponibilidade de cálcio por meio do uso de calcário. (CAIRES,2013).

Dessa forma, entende-se que a interação entre estes elementos pode fazer com que haja redução do grau de fitotoxicidade do alumínio, pois se supõe que o aumento do suprimento de cálcio, reduz a absorção de alumínio, que conseqüentemente reduziria os efeitos da toxicidade por Al nas plantas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de cálcio na presença e na ausência de Al em solução nutritiva no crescimento inicial de plantas de abóboreira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia em casa de vegetação com temperatura média de 26°C no período de maio a junho de 2012. A espécie utilizada foi abóbora (*Cucurbita moschata* Duch.). As mudas foram produzidas a partir de sementes, em bandejas de polietileno com 128 células, utilizando-se como substrato areia lavada.

Após esse período as mudas foram selecionadas de acordo com a formação do primeiro par de folhas definitivas. Quando as plantas atingiram uma altura média

de ± 5 cm, realizou-se o transplante das aboboreiras para vasos de polietileno com capacidade para 1 dm³, contendo como substrato areia.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de cálcio (0; 100; 200; 300 e 400 mg.L⁻¹) na forma de CaCl₂ e duas doses de alumínio (0; 54 mg.L⁻¹) adicionado como AlCl₃. As plantas foram submetidas às soluções nutritivas 7 dias após o transplante, sendo realizadas irrigações diárias com 50 ml das soluções. As soluções foram preparadas de acordo com a metodologia proposta por HOAGLAND & ARNON (1950). Aos 45 dias, realizou-se análise de crescimento determinando-se as seguintes variáveis: altura de parte aérea, comprimento e volume de raiz, diâmetro da haste e número de folhas. Além disso, foram avaliados os teores de clorofila a e b (ICF – Índice de Clorofila Folker) e área foliar (ADC modelo AM-300). Com auxílio do software Visual MINTEQ foi determinada a percentagem de alumínio, fósforo e cloro na solução nutritiva.

A significância dos efeitos dos tratamentos foi determinada pelo Teste F, sendo que para o fator doses de cálcio fez-se o estudo de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que houve efeito positivo ($p < 0,05$) da interação entre os níveis de Ca e a concentração de Al na solução nutritiva para as variáveis: altura de planta (**ALT**), número de folhas (**NF**), clorofila b (**CLO B**), clorofila total (**CLO T**), comprimento de raiz (**CR**), volume de raiz (**VR**) e área foliar (**AF**). (tabela 3);

TABELA 3. Significância da interação ($P > F_c$) dos níveis de cálcio na presença e ausência de alumínio no crescimento das plantas

	ALT	DIA	NF	CLO A	CLO B	CLO T	CR	VR	AF
Ca x									
Al	0,04*	0,93 ^{ns}	0,00**	0,05NS	0,00**	0,01NS	0,04*	0,00**	0,00**

*Significância pelo teste f

Analisando todas as variáveis de crescimento, por meio das curvas de resposta, foi possível notar que a presença do alumínio proporcionou o menor crescimento das plantas (Figura 1) quando comparado com os tratamentos nos quais este metal não foi adicionado. Assim, pode-se inferir que houve efeito fitotóxico do alumínio.

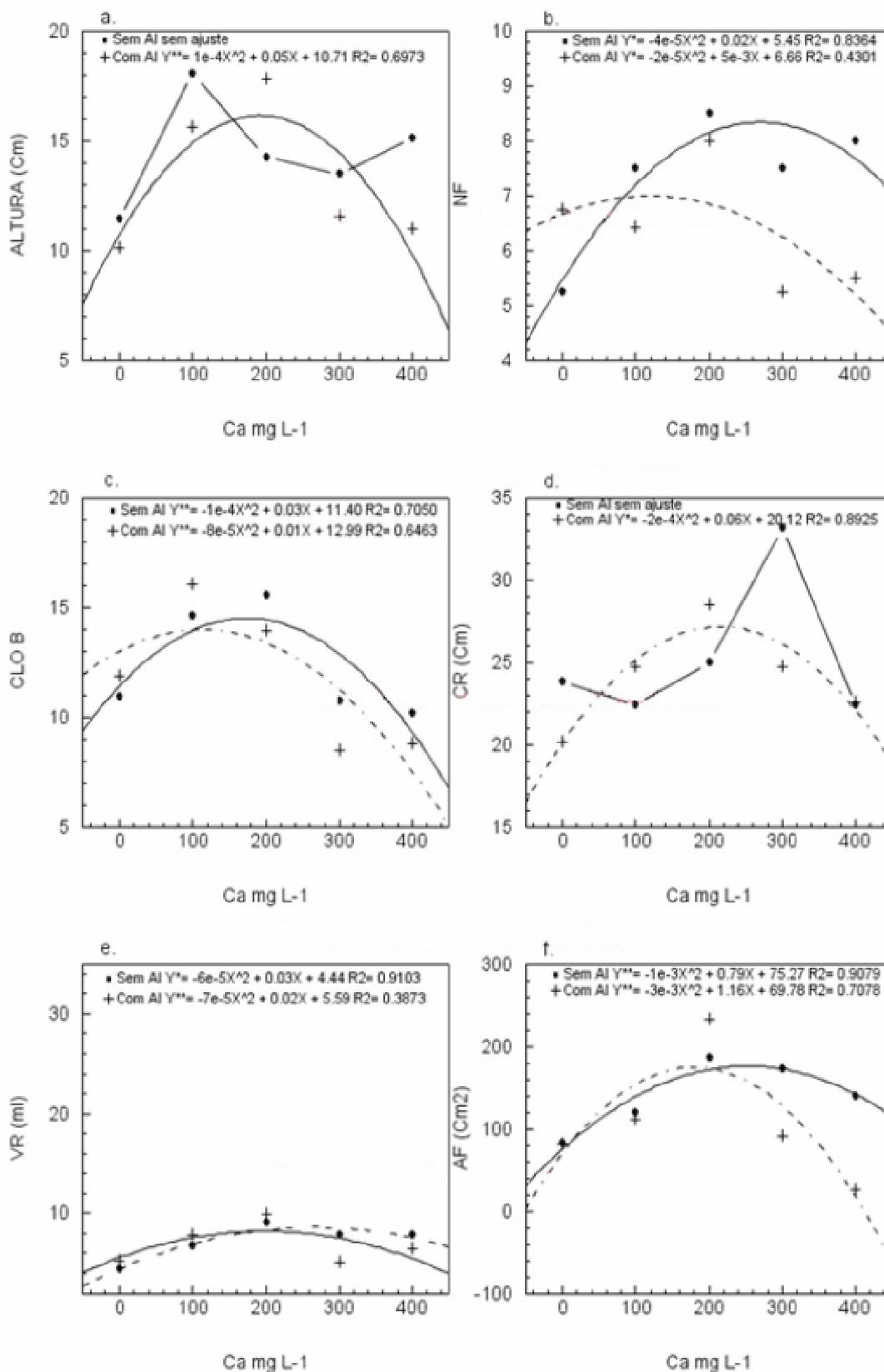


FIGURA 1: a. Altura da planta (cm), b. Número de folhas (NF), c. Clorofila b (CLOB), d. Comprimento de raiz (CR), e. Volume de raiz (VR), f. Área foliar (AF)

Por meio da análise de regressão, pode-se notar que na presença de Al (54 mg de Al L⁻¹) as plantas apresentaram o máximo desempenho das variáveis avaliadas quando foram submetidas a concentrações de cálcio na faixa de 117 a 215 mg de Ca L⁻¹, enquanto que na ausência (0 mg de Al L⁻¹) do alumínio o crescimento máximo foi observado nas plantas que cresceram em concentrações de cálcio na faixa de 252 a 271 mg Ca L⁻¹ (Figura 1). Este resultado indica que as plantas que cresceram na presença de alumínio sofreram alterações fisiológicas, reduzindo a capacidade para absorver nutrientes (DE FREITAS et al., 2006).

Com relação a os valores de clorofila b, pode-se notar que as plantas submetidas à toxidez de alumínio apresentaram menores medias a partir da dose de 100 mg L⁻¹ de Ca quando comparadas as que não foram submetidas ao Al (Figura 1c). Este resultado pode ser consequência da inibição da enzima δ-aminolevulinic acid dehydratase (ALA D) que promove a formação de porfirinas hemes e clorofilas que por ter natureza sulfídrica é susceptível a metais como o Al (PEREIRA et al., 2010).

Nota-se também que o aumento da concentração de cálcio na solução nutritiva até a dose de 200 mg L⁻¹, proporcionou um incremento no teor de clorofila b, e quando a concentração de cálcio foi menor, os teores de clorofila foram baixos (Figura 1c).

A menor tendência no crescimento como consequência da adição de alumínio nas plantas pode ser o explicado por diferentes mecanismos, destacando-se a produção de radicais livres que tem como resultado a peroxidação de lipídeos gerando estresse oxidativo nas plantas (GUO et al, 2006), no estresse oxidativo tem-se sugerido que o alumínio estimula a formação de radicais livres pela sensibilização das membranas celulares. De acordo com as reações redox mediadas por diferentes compostos que contem ferro na sua estrutura, resultam na peroxidação dos lipídeos das membranas celulares levando a perda da integridade das células (DIPIERRO et al., 2005).

Segundo (KAWANO, et al., 2004) o AlCl₃ que foi o sal utilizado neste experimento como fonte de alumínio é um sal que estimula a produção de superóxido que é citotóxico, este autor indica que a produção é dependente da concentração deste sal.

O efeito do Ca na diminuição dos efeitos negativos do alumínio pode ser explicado pelo aumento da atividade do cálcio na solução nutritiva, a simulação realizada com o software Visual MINTEQ indica que a atividade do cálcio aumenta com o incremento da concentração deste nutriente na solução (T1= 6.46x10⁻¹⁴, T2= 8.19x10⁻¹⁴, T3= 2.74x10⁻⁴, T4= 2.08, T5= 3.74, T6= 4.21, T7= 5.79, T8= 6.35, T9= 7.85, T10=8.47 mM L⁻¹), este aumento na atividade pode levar á diminuição na capacidade de livre movimentação do alumínio na solução o que reduz a probabilidade de que este metal tenha contato com a raiz das plantas estudadas; segundo (KINRAIDE, 1998)

O efeito benéfico do cálcio no alívio da toxidez do alumínio se deve à movimentação do Al⁺³ da superfície das células isto por efeitos eletrostáticos, pela redução das superfícies negativas da membrana plasmática e pelo incremento da concentração de cálcio que diminui os possíveis sítios de ligação do Al na membrana plasmática, igualmente é possível pensar que altas concentrações de cálcio podem diminuir o efeito de depolarização do potencial transmembrana que é

uma típica característica da síndrome de toxidez por alumínio nas plantas (RENGEL & ZHANG, 2003).

Pesquisas dedicadas ao estudo das propriedades das paredes celulares sugerem que a adição de cálcio reduz a síntese de polissacarídeos como arabonoxylan e β -glucan que reduz a massa molecular de polissacarídeos de hemicelulose, tendo como resultado o incremento da estabilidade mecânica da parede celular (HOSSAIN et al., 2005), Além disso, nos últimos anos tem-se proposto à possibilidade da biossínteses de enzimas antioxidantes mediadas pelo cálcio (GUO et al., 2006) que diminuiriam o efeito deletério do superóxido.

Nos diferentes tratamentos avaliados pode-se observar uma tendência de baixo crescimento quando a concentração do cálcio foi inferior a 200 mg L^{-1} , esta resposta pode ser originado pelo bloqueio do alumínio aos canais que são permeáveis ao cálcio, pela reticulação de resíduos pécticos e pela reticulação originada pelo alumínio que altera a estrutura da parede celular (REID et al., 1995).

De acordo com KAWANO et al., (2004) os canais TPC1 são os canais com sensibilidade ao alumínio sendo bloqueados por este metal. Os resultados obtidos neste experimento estão de acordo com os reportados por (KELTJENS & TAN, 1993) que sugerem que o Ca tende a ser mais eficiente para aliviar os efeitos tóxicos em plantas dicotiledôneas que o Mg, acontecendo o inverso nas monocotiledôneas.

Pode-se observar pelas informações da (tabela 4) que com o aumento da concentração de cálcio na solução nutritiva houve redução na percentagem das moléculas HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- que são as formas de fósforo absorvidas pelas plantas, com a diminuição destas formas aumentou a presença das moléculas MgHPO_4 (aq) e CaHPO_4 (aq) que chegando a ser 9 % e 32 % respectivamente, das formas de fósforo disponíveis na solução quando a concentração de Ca foi 400 mg L^{-1} , contrariamente a percentagem de Cl^- na solução nutritiva sempre foi da ordem do 99%, sabendo que o cloro é absorvido pelas plantas na forma de Cl^- e tendo em conta que a concentração do Cl^- nas solução nutritiva foi de 0, 175, 350, 525 e 700 mg L^{-1} para os tratamentos sem Al^{+3} embora este seja um elemento essencial, as concentrações elevadas pode gerar danos ao citoplasma das células gerando sintomatologias típicas nas bordas das folhas (DIAS & BLANCO, 2010).

TABELA 4. Percentagem das moléculas de HPO_4^{-2} , H_2PO_4^- , Al^{+3} , Cl^- , na solução nutritiva dos tratamentos sem alumínio.

Dose (mg l^{-1})	HPO_4^{-2} (%)	H_2PO_4^- (%)	Al^{+3} (%)	Cl^-
0 T1	69,394	3,214	0	0
100 T3	53,228	2,595	0	99,123
200 T5	45,02	2,206	0	98,881
300 T7	39,995	1,941	0	98,658
400 T9	36,548	1,748	0	98,452

*valores determinados com o software VisualMINTEQ Ver 3.0

Comparando as informações da Tabela 4) com as da Tabela 5) é possível observar que a percentagem das moléculas HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- foram muito baixas, segundo o resultado do análise do Visual MINTEQ. As moléculas com fósforo que dominaram foram os complexos AlHPO_4^{+4} e $\text{Al}_2\text{PO}_4^{+3}$ (30,21 % e 67,22 % respectivamente) quando a concentração de cálcio foi 400 mg L^{-1} , em comparação

com os teores de Cl^- dos tratamentos sem alumínio os tratamentos com teor de Al^{+3} 54 mg L^{-1} tiveram uma maior concentração deste elemento na solução (0, 380, 560, 735, 910 mg L^{-1}).

TABELA 5. Percentagem de moléculas de HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Al^{+3} , Cl^- , na solução nutritiva dos tratamentos com alumínio.

Dose (mg l^{-1})	HPO_4^{2-} (%)	H_2PO_4^- (%)	Al^{+3} (%)	Cl^-
0 T2	0,011	1,94	20,865	99,375
100 T4	0,011	1,986	23,363	99,095
200 T6	0,012	2,123	26,424	98,881
300 T8	0,012	2,214	28,503	98,665
400 T10	0,013	2,303	30,258	98,464

*valores determinados com o software VisualMINTEQ Ver 3.0

Estas informações permitem estabelecer que os resultados obtidos neste experimento não só podem-se dever ao efeito do alumínio mas também a baixa disponibilidade de fósforo e ao efeito de altas concentrações de cloro nas plantas; pois altas concentrações de Cl^- podem originar diminuição da atividade do fósforo na solução pelo aumento da força iônica tendo como consequência plantas com crescimento deficiente (Do CARMO et al., 2011).

CONCLUSÃO

o Cálcio (117 a 251 mg L^{-1}) propicia a redução dos efeitos deletérios do alumínio em mudas de abóbora.

REFERÊNCIAS

AQUINO, R.S.L. **História das sociedades americanas**. Rio de Janeiro: **Record**, v.80, p.45-46, 54-67, 2010.

AQUINO, E. L.; SANTOS, A. R. DOS.; SOUZA, G.S. DE.; SILVA, P. C. C. Plantas de amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) submetidas à diferentes doses de alumínio em solução nutritiva. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p.1698, 2013.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS. International Plant Nutrition Institute (IPNI)** n.141, p. 1-13, 2013.

DE FREITAS, A. F.; KOPP, M. M.; De SOUZA, O. R.; ZIMMER, D. P.; De CARVALHO, I. F.; De OLIVEIRA, C. A. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.71-79, 2006.

DIAS, N. & BLANCO, F. Efeito das sais nos solo e nas planta. **In: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. p.133-144, 2010.

DIPIERRO, N.; MONDELLI, D.; PACIOLLA, C.; BRUNETTI, G. & DIPIERRO, S. Changes in the ascorbate system in the response of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) roots to aluminium stress. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.529-536, 2005.

Do CARMO, G.; DE OLIVEIRA, F. R.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. & FREITAS, D. C. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.512-518, 2011.

GRIN – Germplasm Resources Information Network. (2013) Disponível em: <http://www.ars-grin.gov/>. acesso em: 25/09/2014.

GUO, T. R.; CHEN, Y.; ZHANG, Y. H.; JIN, Y. F. Alleviation of Al Toxicity in Barley by Addition of Calcium. **Agricultural sciences in china**. n.5, p.828-833, 2006.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. **Berkeley: California Agricultural Experimental Station**, p.347, 1950.

HOSSAIN, Z. A.; OHNO, T.; KOYAMA, H.; HARA, T. Effect of enhanced calcium supply on aluminum toxicity in relation to cell wall properties in the root apex of two wheat cultivars differing in aluminum resistance. **Plant and Soil**, v.276, p.193-204, 2005.

KAWANO, T.; KADONO, T.; FUMOTO, K.; LAPEYRIE, F.; KUSE, M.; ISOBE, M.; FURUICHI T.; MUTO, S. Aluminum as a specific inhibitor of plant TPC1 Ca²⁺ channels. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.324,n.1, p.40-45, 2004.

KELTJENS, W. G. & TAN, K. Interactions between aluminium, magnesium and calcium with different monocotyledonous and dicotyledonous plant species. **Plant and Soil**, v.155, n.156, p.485-488, 1993.

KINRAIDE, T. Three Mechanisms for the Calcium Alleviation of Mineral Toxicities. **American Society of Plant Physiologists**, v.118, p.513-520, 1998.

PEREIRA, L. B.; MAZZANTI, C. M.; GONÇALVES, J. F.; CARGNELUTTI, D.; TABALDI, L.; BECKER, A. G.; CALGAROTO, N. S.; FARIAS, J. G.; BATTISTI, V.; BOHRER, D.; NICOLOSO, F. T.; MORSCH, V. M.; SCHETINGER, M. R. C. Aluminum-induced oxidative stress in cucumber. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, n.8, p.683-689, 2010.

RAMOS, S. R. R.; LIMA, N. R. S.; Anjos, J. L.; Carvalho, H. W. L.; Oliveira, I. R.; Sobral, L. F.; Curado, F. F. Aspectos técnicos do cultivo da abóbora na região Nordeste do Brasil. **Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 154**).p. 36, 2010.

REID, R. J.; TESTER, M. K.; SMITH, A. F. Calcium/aluminium interactions in the cell wall and plasma membrane of Chara. **Planta**. n.195, p.362-368,1995.

RENGEL, Z. & ZHANG, H. W. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminium-toxicity syndrome. **New Phytologist**, v. 159, p.295-314, 2003.