



**UFC**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ESRAELDA AMARAL DE ARAÚJO**

**INTERAÇÃO PORTA-ENXERTO E COPA DE CAJUEIRO QUANTO A  
TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO**

**FORTALEZA**

**2018**

ESRAELDA AMARAL DE ARAÚJO

**INTERAÇÃO PORTA-ENXERTO E COPA DE CAJUEIRO QUANTO A  
TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Guirado Artur.

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- A688i Araujo, Esraelda Amaral de.  
Interação Porta-Enxerto e Copa de Cajueiro Quanto a Tolerância ao Alumínio / Esraelda Amaral de Araujo. – 2019.  
58 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Profª. Dra. Adriana Guirado Artur.  
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.
1. Anacardium occidentale L. 2. Enxertia. 3. Produção de mudas. 4. Área Foliar. 5. Massa da Matéria Seca. I. Título.

CDD 631.4

---

ESRAELDA AMARAL DE ARAÚJO

**INTERAÇÃO PORTA – ENXERTO E COPA DE CAJUEIRO QUANTO A  
TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovada em: 27/ 07/ 2018

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Guirado Artur (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. William Natale  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Luiz Augusto Lopes Serrano  
Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa)

FORTALEZA

2018

Aos meus pais, José Mauro e Maria de Fátima,  
e irmãos Israel, Jonas, Rosineide e Mateus  
pelo incentivo e confiança.

Ao meu esposo Ryshardson, pelo amor, apoio  
e companheirismo, quem me ajuda em toda  
caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo Ryshardson Silva, pela cumplicidade, paciência e ternura, nos dias alegres e, principalmente, nos mais cansativos e preocupantes.

Aos meus pais, José Mauro F. de Araújo e Maria de Fatima S. do Amaral, pelos conselhos, ensinamentos, apoio e amor durante toda minha vida.

Aos meus irmãos, Israel A. Araújo, Jonas A. Araújo, Rosineide A. Araújo e Mateus S. Araújo, pela amizade, carinho e apoio nos momentos difíceis da minha vida.

À minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Guirado Artur, pela orientação, atenção, ensinamentos, contribuindo para a minha formação acadêmica.

Ao meu coorientador Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi pela orientação, ensinamentos, paciência, e dedicação contribuindo para a minha formação acadêmica.

À minha banca examinadora, Prof. Dr. William Natale e o pesquisador da Embrapa Dr. Luiz Augusto Lopes Serrano por todos os ensinamentos, contribuindo para o aperfeiçoamento do trabalho.

A minha irmã e amiga Thaís Martins pela amizade, companheirismo, paciência, ensinamentos, conselhos e apoio, serei eternamente grata.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFC agradeço pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos durante parte de minha trajetória na pós-graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFC, pela oportunidade a mim proporcionada de cursar uma pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo auxílio financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado e demais apoios financeiros.

A todos os servidores do Departamento de Ciências do Solo, aos técnicos (as) Deyse Maia, do Laboratório de Manejo do Solo e Água, e Crisanto Dias, do Laboratório de Química do Solo, e ao secretário Edilson Dote, pela gentileza e dedicação ao longo de minha pós-graduação.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pela infraestrutura cedida para a execução dos experimentos desta dissertação, e a todos do Laboratório de Solos e Água, que contribuíram para a realização dessa pesquisa Vanderléia, Thaís, Israel, David, Luis, Ricardo, Carol, Geovane e Raimundo, por toda ajuda durante este experimento.

À equipe de funcionários do Campo Experimental de Pacajus pelo apoio na condução do projeto de pesquisa.

Aos amigos da Pós-Graduação, Luan, Nathielly, Raquel, Rhayane, e Rodolfo com quem passei muitos momentos agradáveis nesta etapa de formação.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, para o meu crescimento pessoal, intelectual e profissional.

## RESUMO

A utilização de genótipos de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) tolerantes ao alumínio pode ser uma estratégia importante para aumentar a produção da cultura em regiões que tem predomínio de solos com reação ácida, baixa disponibilidade de nutrientes e altas concentrações de alumínio trocável. Objetivou-se verificar a influência da enxertia e a interação porta-enxerto e copa de genótipos de cajueiro, quanto à tolerância ao alumínio. Para isso, foram realizados dois experimentos com plantas de cajueiro, sendo o primeiro para a avaliação de três genótipos ('CCP 06', 'CCP 09' e 'CCP 76') e dois tipos de muda (pé-franco e auto-enxertada); e, o segundo, para a avaliação da interação de três genótipos como porta-enxertos ('CCP 06', 'CCP 09' e 'CCP 76') e três como copas ('CCP 76', 'Embrapa 51' e 'BRS 226'). Em ambos os experimentos, as plantas foram cultivadas na ausência e na presença de alumínio (30 mg L<sup>-1</sup> de Al) na solução nutritiva com seis repetições. As mudas foram produzidas no Campo Experimental de Pacajus e, após o processo de enxertia, os experimentos foram conduzidos em telado localizado na Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza-CE. Foram utilizados vasos de 5 L contendo areia lavada e solução nutritiva de Hoagland e Arnon a 20% da concentração de macronutrientes e 100% da concentração de micronutrientes, sem e com alumínio. Cento e dez dias após o início da aplicação do alumínio, as plantas foram avaliadas quanto a altura, o diâmetro do caule, o número de folhas, a área foliar, a matéria seca da parte aérea (caule e folhas) e das raízes e a relação entre parte aérea e raízes. Em ambos os experimentos, a presença do alumínio na solução nutritiva afetou negativamente todas variáveis avaliadas. Com os dados obtidos foi possível concluir que as mudas enxertadas de cajueiro-anão apresentam maior tolerância ao alumínio, em relação as mudas de pé-franco. A utilização do genótipo de cajueiro 'CCP 09' como porta-enxerto e das copas 'CCP 76' e 'Embrapa 51' resultam em mudas enxertadas com maior tolerância ao alumínio.

**Palavras-chave:** *Anacardium occidentale* L.; Enxertia; Produção de mudas; Área Foliar; Massa da Matéria Seca.

## ABSTRACT

The use of aluminum tolerant cashew genotypes (*Anacardium occidentale* L.) may be an important strategy to increase crop yield in regions with acid soils, low nutrient availability, and high exchangeable aluminum concentrations. The objective of this work was to verify the influence of grafting and the rootstock and scion interaction of cashew genotypes on tolerance to aluminum. Two experiments were carried out at Embrapa, in Fortaleza, Ceará state, Brazil. The first one to evaluate three cashew genotypes ('CCP 06', 'CCP 09' and 'CCP 76') and two types of seedlings (non-grafted and self-grafted); and the second one to evaluate three genotypes as rootstock ('CCP 06', 'CCP 09' and 'CCP 76') and three as scion ('CCP 76', 'Embrapa 51' and 'BRS 226'). In both experiments, the plants were grown in the absence and presence of aluminum (30 mg L<sup>-1</sup> of Al) in the nutrient solution and with six replicates. Five-liter pots containing washed sand and Hoagland and Arnon solution at 20% macronutrients concentration and 100% micronutrients concentration were used in the experiments. At 110 days after the application of aluminum, the plants were evaluated for height, stem diameter, number of leaves, leaf area, dry matter of aerial part (stem and leaves) and roots system and their ratio. In both experiments, the presence of aluminum in the nutrient solution negatively affected all evaluated variables. With the data obtained it was possible to conclude that the grafted seedlings of dwarf cashew have a higher tolerance to aluminum, in relation to the non-grafted seedlings. The use of the 'CCP 09' cashew genotype as rootstocks and 'CCP 76' and 'Embrapa 51' crowns results in grafted seedlings with greater tolerance to aluminum.

Keywords: *Anacardium occidentale* L.; Grafting; Seedling production; Leaf area, Mass of dry matter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disponibilidade dos nutrientes em relação ao valor do pH do solo.....	22
Figura 2 –Distribuição relativa das espécies de Al na solução do solo.....	23
Figura 3 – Processo de enxertia: incisão no porta-enxerto (A), inserção do garfo (B), amarrão da enxertia (C), proteção do garfo com saquinho de plástico (D), mudas recém-enxertadas (E) e pegamento das mudas com a emissão de novas folhas (F).....	28
Figura 4 – Vista geral do primeiro experimento, com mudas de pé-franco e auto enxertadas de cajueiro-anão cultivadas na ausência e presença de alumínio na solução nutritiva. ....	29
Figura 5 – Vista geral do segundo experimento, com mudas enxertadas de cajueiro cultivadas na ausência e presença de alumínio na solução nutritiva. ....	30
Figura 6 - Altura de mudas de pé franco (1) e enxertadas (2) de cajueiro-anão clones ‘CCP 09’(A) e ‘CCP 76’ (B).....	33
Figura 7 - Altura de mudas de cajueiro-anão clones ‘CCP 06’ (A), ‘CCP 09’ (B) e ‘CCP 76’ (C) em diferentes porta-enxertos e em função do alumínio. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desenvolvimento de mudas de cajueiro-anão em função dos clones, tipos de mudas e alumínio <sup>(1)</sup> .....	32
Tabela 2 - Altura de mudas de cajueiro-anão em função dos clones e dos tipos de mudas <sup>(1)</sup> .....	33
Tabela 3 - Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função dos tipos de mudas e do alumínio <sup>(1)</sup> .....	34
Tabela 4 - Produção de matéria seca de mudas de cajueiro-anão em função dos clones, tipos de mudas e alumínio .....	35
Tabela 5 - Matéria seca de caule, raízes e total e relação parte aérea:raízes de mudas de cajueiro-anão em função dos clones e dos tipos de mudas <sup>(1)</sup> .....	36
Tabela 6 - Matéria seca de folhas de cajueiro-anão em função dos tipos de mudas e do alumínio <sup>(1)</sup> .....	37
Tabela 7 - Matéria seca de raízes de cajueiro-anão em função dos clones e do alumínio <sup>(1)</sup> ...	38
Tabela 8 - Desenvolvimento de mudas enxertadas de cajueiro-anão em função do porta-enxerto, copa e alumínio <sup>(1)</sup> .....	39
Tabela 9 - Altura, número de folhas e área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e da copa <sup>(1)</sup> .....	40
Tabela 10 - Altura, número de folhas e área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do porta-enxerto e do alumínio <sup>(1)</sup> .....	42
Tabela 11 - Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de copa e alumínio <sup>(1)</sup> ..	44
Tabela 12 - Produção de matéria seca de mudas de cajueiro-anão em função do porta-enxerto, copa e alumínio <sup>(1)</sup> .....	45
Tabela 13 - Matéria seca de folhas e de parte aérea de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e da copa .....	46
Tabela 14 - Matéria seca de folhas da parte aérea de mudas e relação parte aérea:raízes de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e do alumínio <sup>(1)</sup> .....	47
Tabela 15 - Matéria seca de folhas de mudas de cajueiro-anão, em função do tipo de copa e do alumínio <sup>(1)</sup> .....	49

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 A cultura do cajueiro.....	15
2.2 Solos para cajueiro.....	16
2.3 Propagação do cajueiro .....	18
2.4 Origem da acidez do solo.....	19
2.5 Efeitos da acidez do solo .....	21
2.6 Crescimento das plantas e mecanismos de tolerância ao alumínio .....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4.1 Influência da enxertia na tolerância ao alumínio .....	31
4.2 Interação porta-enxerto e copa na tolerância ao alumínio .....	38
CONCLUSÕES .....	50
REFERÊNCIAS .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta originária do Brasil e encontrada em quase todo o território nacional; entretanto, as maiores áreas de plantio comercial concentram-se na região Nordeste, que é responsável por cerca de 98,9% da produção de castanha de caju, cerca de 135 mil toneladas (IBGE, 2018).

A produtividade brasileira é considerada baixa, quando comparada com os maiores produtores de castanha de caju no mundo, como a Nigéria, a Índia, a Costa do Marfim e o Vietnã (FAO, 2017). Essa baixa produtividade é justificada pela idade da maioria dos pomares, formados nas décadas de 1970 e 1980, a partir de sementes de cajueiros-comuns (pé-franco), resultando em pomares desuniformes, e aliado à baixa precipitação nas regiões produtoras, além do manejo inadequado da cultura (SERRANO; OLIVEIRA, 2013).

Além disso, os solos das regiões produtoras no sul do Ceará, chapada do Apodi (entre Ceará e Rio Grande do Norte) e sudeste e sul do Piauí são ácidos, com alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de cálcio e magnésio, o que limita não somente o desenvolvimento do cajueiro, mas, também, de muitas plantas cultivadas. De modo geral, o alumínio do solo promove o atrofiamento das raízes primárias e a inibição da formação das raízes laterais, restringido o seu desenvolvimento às camadas superficiais e impedindo a sua penetração em camadas mais profundas, tendo como reflexo a diminuição da absorção de água e de nutrientes, reduzindo a produção dos pomares (SAMAC; TESFAYE, 2003).

A partir da década de 1980 foram disponibilizados para os produtores os clones de cajueiro-anão ‘CCP 06’; ‘CCP 76’; ‘CCP 09’; ‘CCP 1001’; ‘Embrapa 50’; ‘Embrapa 51’; ‘BRS 189’; ‘BRS 226’; ‘BRS 253’ e ‘BRS 265’, o clone de cajueiro-comum ‘BRS 274’ e o híbrido ‘BRS 275’, que apresentam como características a uniformidade das plantas em termos de porte e produção. Além disso, iniciou-se a formação de pomares de cajueiro a partir de mudas enxertadas, o que tornou as plantas mais homogêneas, de menor porte, facilitando as práticas de manejo, como a poda, o controle de pragas e doenças, além da precocidade de produção, aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, como os pedúnculos e as castanhas (SERRANO *et al.*, 2013).

Assim, a escolha do porta-enxerto e da copa para a produção das mudas enxertadas de cajueiro ganha importância, uma vez que podem-se combinar genótipos com características desejáveis, como resistência a pragas e doenças, e adaptados a diversas condições ambientais (PAIVA *et al.*, 2008). Particularmente, em relação ao cultivo do cajueiro em solos ácidos, têm-se duas possibilidades: a neutralização do alumínio trocável por

meio da calagem, mas que se restringe à camada de incorporação do calcário no solo; ou a utilização de genótipos que apresentem tolerância ao  $Al^{3+}$ .

Existem poucas informações referente aos efeitos do alumínio no cajueiro, sobretudo em relação aos mecanismos de tolerância para os tipos de mudas (pé-franco e enxertadas), entre os genótipos e para as combinações existentes entre porta-enxertos e copas.

Com esse trabalho, buscou-se avaliar o desenvolvimento de mudas seminais (pé-franco) e enxertadas, quanto a tolerância ao alumínio; o efeito de genótipos de cajueiro utilizados como porta-enxerto e copa e, a interação entre porta-enxerto e copa quanto a tolerância ao alumínio; e, ainda, selecionar a melhor combinação porta-enxerto/copa de cajueiro tolerante ao alumínio.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) pertencente à família Anacardiaceae que é representada por cerca de 60 a 70 gêneros, com aproximadamente 600 espécies, sendo composta por árvores e arbustos tropicais e subtropicais (BEZERRA *et al.*, 2007). Outras espécies que também pertencem à família Anacardiaceae possuem importância econômica, destacando-se a manga (*Mangifera indica* L.), o pistache (*Pistacia vera* L.), o umbu (*Spondias tuberosa*), o cajá (*Spondias mombin* L.), a siriguela (*Spondias purpurea* L.) e o cajá-manga (*Spondias cytherea* Sonn.) (BARROS, 2002).

Pelo porte da planta, o cajueiro é classificado em dois tipos: cajueiro-comum ou gigante e cajueiro-anão. O cajueiro-comum apresenta porte elevado, podendo atingir entre 8 m e 15 m de altura, com envergadura que pode chegar até 20 m, cujo florescimento ocorre a partir do segundo ou no terceiro ano. O cajueiro-anão caracteriza-se pelo porte baixo, com altura em torno de 3 m a 4 m, copa homogênea, envergadura de copa entre 7 m a 9 m, iniciando o florescimento entre 6 e 18 meses, motivo pelo qual é conhecido também por cajueiro-anão precoce (OLIVEIRA, 2008).

Trata-se de uma espécie originária do Brasil, distribuída em quase todo o território nacional, sendo a sua maior concentração na região Nordeste, principalmente nos estados do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN) e Piauí (PI), que são os maiores produtores de castanha de caju do País (SERRANO; PESSOA, 2016).

O cultivo do cajueiro nas regiões produtoras do semiárido do Brasil desempenha importância econômica e social, contribuindo para o aumento na geração de empregos e renda, uma vez que o processo de produção ocorre durante todo o ano, envolvendo diversas etapas: implantação do pomar, manejo da cultura, colheita, transporte, armazenamento, processamento do pedúnculo, da castanha e dos resíduos gerados, posteriormente, ocorre a venda desses produtos no mercado interno e externo, sendo a amêndoa de castanha de caju o principal produto do cajueiro (CAVALCANTI *et al.*, 2008).

A produção de castanha de caju no Brasil é baixa (aproximadamente 107 mil toneladas/ano), quando comparada aos principais países produtores como a Nigéria (894 mil toneladas), a Índia (753 mil toneladas), a Costa do Marfim (531 mil toneladas) e o Vietnã (245 mil de toneladas) (FAO, 2017).

Com relação a produtividade a Nigéria produz cerca de 2.350 kg ha<sup>-1</sup>, a Índia 745 kg ha<sup>-1</sup>, a Costa do Marfim 380 kg ha<sup>-1</sup> e o Vietnã 850 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2017). Em 2017, a produtividade de castanhas no Brasil foi de aproximadamente 240 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2018), considerada baixa, podendo ser explicada pela pouca adoção das tecnologias existentes para o sistema de produção do cajueiro (preparo do terreno, utilização de mudas enxertadas, fertilização adequada, emprego da irrigação, controle de pragas e doenças e boas práticas de colheita e pós-colheita) (LIMA *et al.*, 2010).

O cajueiro se desenvolve preferencialmente em regiões com temperaturas médias anuais entre 22 °C a 32 °C; sendo que abaixo de 16 °C ou acima de 40 °C, o cultivo é considerado restrito. A faixa de umidade relativa do ar recomendada está entre 70% e 85%; sendo que em regiões com umidade relativa do ar acima de 85%, observa-se que a incidência de doenças fúngicas é mais elevada. Já a precipitação pluviométrica média anual recomendada está entre 800 mm a 1.500 mm (CRISÓSTOMO, 2013).

Com relação ao tipo de relevo, este deve ser plano ou suave ondulado, com declividades entre 3% e 8%; regiões que apresentam relevo forte-ondulado e montanhoso com declividades maiores que 30%, são inaptas para a implantação do cajueiro; é importante não haver restrição quanto à drenagem (RAMOS, *et al.*, 1997). Os solos devem ser profundos, pois, o cajueiro não tolera solos com profundidade inferior a 1,5 m, devido ao fato de possuir sistema radicular profundo e robusto. O sistema radicular é composto por uma raiz pivotante bifurcada, podendo ultrapassar 10 m de profundidade, e raízes laterais que absorvem água e nutrientes (OLIVEIRA, 2002).

## **2.2 Solos para cajueiro**

Os solos mais indicados para a implantação do cajueiro são os que apresentam textura arenosa ou franco-arenosa (menos de 15% de argila), mas pode-se utilizar qualquer outra classe do solo, desde que a drenagem seja eficiente. Solos que apresentam condutividade elétrica (CE) entre 8 dS/m e 15 dS/m são restritivos ao cultivo do cajueiro (RAMOS *et al.*, 1997).

Na região Nordeste, os pomares de cajueiro são cultivados principalmente nos Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos, os quais apresentam problemas quanto às características químicas, porém, com boas qualidades físicas, pois, são profundos, permeáveis e não possuem problemas em relação a pedregosidade e nem camadas adensadas, características que favorecem o desenvolvimento dos pomares (CRISÓSTOMO, 1991).

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam textura arenosa ao longo do perfil, sendo constituídos por 95% ou mais de quartzo; são profundos e não apresentam impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular; possuem baixa retenção de água e de nutrientes (FRAZÃO *et al.*, 2008). Podem ser encontrados nas regiões do Planalto da Ibiapaba e Sertão do Piauí; e regiões da Ibiapaba, Cariri, Sertão do Baixo Jaguaribe e Sertão do Sudoeste no Ceará (CRISÓSTOMO *et al.*, 2001).

Os Latossolos são solos minerais que apresentam horizonte B latossólico como horizonte diagnóstico, avançado estágio de intemperização, drenagem variando de fortemente a bem drenados e elevada profundidade, com pouca diferenciação entre sub-horizontes. Em geral, são fortemente ácidos, com saturação por bases baixa, podendo ocorrer saturação média a alta em zonas de baixa pluviosidade. Para o cultivo nesses solos é recomendado que sejam realizadas a correção da acidez do solo e do alumínio trocável (SANTOS *et al.*, 2013). Ocorrem nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, desde o litoral até as serras, chapadas e sertões (CRISÓSTOMO *et al.*, 2001).

Os Argissolos são solos minerais que apresentam horizonte B textural como horizonte diagnóstico, resultante da iluviação e acumulação de argila dos horizontes superficiais para os horizontes subsuperficiais; podem apresentar drenagem desde forte a imperfeita, com profundidade variável e acidez moderada a forte. A coloração também é diversificada, podendo exibir cores avermelhadas ou amareladas e, em alguns casos, cores brunadas ou acinzentadas (SANTOS *et al.*, 2013). Podem ser encontrados principalmente no Litoral Norte do estado do Ceará (CRISÓSTOMO *et al.*, 2001).

Solos com baixos teores de alumínio trocável e valores de pH em água variando entre 4,5 e 6,5 são favoráveis ao crescimento do cajueiro, entretanto, verifica-se que a maioria dos solos utilizados para o plantio tem reação ácida (pH 4,3 a 5,3) e concentrações variadas de alumínio trocável. Lima, Oliveira e Aquino (1999) observaram que as regiões mais representativas no cultivo de cajueiro no estado do Piauí apresentaram concentrações de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e saturação por alumínio na camada superficial variando de 1 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> a 29 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 9% a 80% respectivamente. Segundo esses autores, a elevada saturação por alumínio, associada à baixa disponibilidade de cálcio e de magnésio nesses solos, limitam o desenvolvimento não somente do cajueiro, mas, da maioria das plantas cultivadas.

### 2.3 Propagação do cajueiro

A propagação do cajueiro é realizada por dois métodos: via sexuada ou assexuada. A propagação sexuada consiste no plantio utilizando a semente, enquanto no método assexuado são utilizadas as partes vegetativas do cajueiro, como garfos, gemas e estacas. As mudas que são propagadas por sementes, denominadas de seminais, também são popularmente chamadas de ‘pé-franco’. Por ser uma espécie alógama, as plantas do cajueiro originadas de sementes apresentam alta variabilidade genética. Com isso, muitos pomares são heterogêneos quanto ao porte das plantas, tamanho e peso da castanha; cor, formato e textura do pedúnculo, o que dificulta o manejo cultural e a padronização da colheita e beneficiamento (OLIVEIRA, 2008). Além disso, apresentam heterogeneidade em relação à tolerância quanto às pragas e doenças e ao estresse hídrico, afetando a produtividade da cultura.

A técnica de enxertia (propagação assexuada) é bastante utilizada, na fruticultura, e possui inúmeros objetivos como prevenção de pragas e doenças, (LEE, 1994); tolerância à salinidade (COLLA *et al.*, 2006); melhorar a qualidade dos frutos (FERNANDEZ-GARCIA; CARVAJAL; OLMOS 2004); favorecer a absorção e translocação de água e nutrientes (TOMAZ *et al.*, 2005); resistência a seca (ERISMANN; MACHADO; TUCCI, 2008); resistência à toxicidade de metal pesado (ROUPHAEL *et al.*, 2008), dentre outros.

O processo de enxertia no cajueiro consiste na junção do enxerto (garfo ou borbulha), que formará a copa, e o porta-enxerto que constituirá o sistema radicular da nova planta, após a regeneração dos tecidos. Essa nova planta apresentará características desejáveis ao seu desenvolvimento como: resistência a pragas e doenças, redução do porte do cajueiro, pomares mais uniformes e produtivos e, também, poderá ser utilizada para restaurar cajueiros improdutivos por meio da substituição da copa (CAVALCANTI JUNIOR, 2013).

As vantagens da utilização da enxertia na cultura do cajueiro consistem na formação de pomares mais homogêneos, com menor porte das plantas, o que facilita as práticas de manejo, como a poda, o controle de pragas e doenças, além da precocidade de produção, o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, como os pedúnculos e as castanhas (SERRANO *et al.*, 2013).

As castanhas do cajueiro-anão ‘CCP 06’ são as mais utilizadas para a formação dos porta-enxertos devido as características de indução de plantas de porte mais baixo e precocidade, por ser mais tolerante a solos salinos (CAVALCANTI JUNIOR; CHAVES, 2001), por possuírem elevado poder germinativo, compatibilidade com os genótipos copa e elevada taxa de plantas aptas para o plantio em campo. O clone de cajueiro anão ‘CCP 76’

também é utilizado como porta-enxerto, devido à maior disponibilidade nas regiões produtoras, embora esse clone seja suscetível à doença da resinose (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon) (SERRANO *et al.*, 2013). Também devido à disponibilidade, as castanhas do clone ‘CCP 09’ são muito utilizadas pelas grandes empresas produtoras de caju nos estados do Ceará e Piauí.

A falta de conhecimento entre a compatibilidade das combinações de porta-enxerto e copa pode acarretar em resultados não satisfatórios quanto a produtividade e a uniformidade do pomar. De acordo com Webster (1995), as interações que podem ocorrer entre o enxerto e o porta-enxerto são inúmeras, como absorção e transporte de água e nutrientes, aumento na produção, tolerância ou suscetibilidade a praga e doenças, frutos mais uniformes e de melhor qualidade, bem como aumento da produção. Cardoso *et al.* (2010), avaliando o efeito das interações do enxerto e porta-enxerto nos clones de cajueiro-anão sobre a incidência da resinose (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon) verificaram que o clone ‘CCP 06’ foi o que apresentou redução da doença, independentemente do genótipo que foi utilizado no enxerto.

Avaliando os índices de eficiência de absorção, transporte e utilização de nutrientes nos porta-enxerto ‘CCP 06’, ‘CCP 76’ e ‘BRS 226’ e nas copas ‘CCP 06’, ‘CCP76’, ‘BRS 189’ e ‘BRS 226’, Cavalcante Júnior (2013) constatou que os porta-enxertos ‘CCP 06’ e ‘CCP 76’ foram mais eficientes no processo de absorção e transporte de nutrientes, enquanto para as copas ‘CCP 76’ e ‘BRS 226’, os índices de eficiência de utilização foram superiores aos demais genótipos analisados.

Utilizando clones de cajueiro-comum, enxertados sobre porta-enxertos do tipo anão-precoce, Paiva *et al.* (2008) verificaram diferenças no desenvolvimento das mudas, confirmando assim o efeito da interação porta-enxerto e copa. As possíveis combinações entre porta-enxerto e copa serão responsáveis por alterações fisiológicas na planta que podem resultar em mecanismos de adaptação para as diversas condições ambientais (PAIVA *et al.*, 2008), incluindo a tolerância ao alumínio do solo.

## **2.4 Origem da acidez do solo**

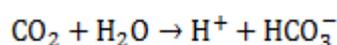
Os solos podem ser naturalmente ácidos, em decorrência da pobreza do seu material de origem, causado pela intensidade dos fatores de formação dos solos, tais como o clima, o relevo, os organismos e o tempo. Além disso, podem apresentar acidez elevada em função dos processos de adubação, da remoção dos cátions pelos cultivos e das raízes em que

ocorrem as trocas de  $H^+$  por cátions (K, Ca e Mg). A matéria orgânica também pode promover a acidificação dos solos, por conta dos seus componentes, tais como: ácidos carboxílicos, grupos fenólicos e alcoólicos que doam prótons (NOVAIS *et al.*, 2007).

Em regiões onde as precipitações pluviométricas são mais elevadas, os solos tendem a ser mais ácidos devido a remoção das bases do complexo de troca, como os cátions cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na), com consequente aumento do hidrogênio ( $H^+$ ) e alumínio ( $Al^{3+}$ ) na solução do solo (ECHART; MOLINA, 2001; NOVAIS *et al.*, 2007).

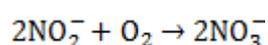
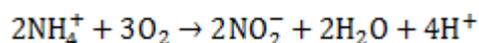
A acidificação do solo, segundo Lopes, Silva e Guilherme (1991), está relacionada com o intemperismo e com a aplicação de adubos, principalmente os adubos nitrogenados amoniacais, podendo ocorrer de duas formas:

1) Reação natural da dissociação do gás carbônico:



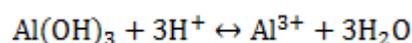
A reação libera hidrogênio ( $H^+$ ) que irá para a solução do solo, ocorrendo a acidificação do mesmo.

2) Aplicação de adubos, principalmente os nitrogenados (amoniacais), ocorrendo as reações de nitrificação pelas bactérias:



Por meio dessa reação é liberado  $H^+$  aumentando assim a acidez do solo e o ânion ( $NO_3^-$ ) formado pela reação de nitrificação pode se ligar aos cátions básicos durante o processo de lixiviação.

Em condições de acidez (pH em  $H_2O < 5,5$ ), o alumínio presente nos minerais é liberado, sendo considerado Al trocável, como pode ser observado na equação:



Contudo, logo que o alumínio é liberado da superfície dos colóides ocorrem várias reações, resultando na liberação de  $H^+$  na solução do solo, provocando assim o aumento da acidez e diminuição do pH do solo.

A acidez do solo é representada de duas maneiras: acidez ativa que é a atividade do íon  $H^+$  na solução do solo e, acidez potencial que se subdivide em acidez trocável ( $Al^{3+}$  adsorvido) e acidez não trocável ( $H^+$  ligado por covalência) (QUAGGIO; RAIJ, 2001).

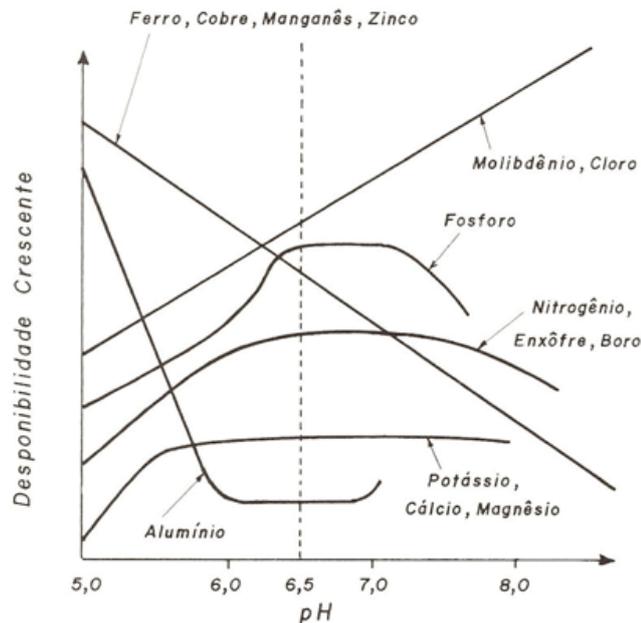
## 2.5 Efeitos da acidez do solo

Em solos com caráter ácido (valores de pH abaixo de 5,0) podem ocorrer os íons  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$  em concentrações tóxicas para as plantas, sendo assim limitante ao cultivo (BEUTLER; FERNANDES; FAQUIN, 2001). A acidez do solo é responsável pelas condições do solo, ou seja, pelas reações de causa e efeito com as propriedades químicas e físicas do solo.

Os principais efeitos da acidez do solo podem ser verificados na disponibilidade de nutrientes, na atividade de microrganismos e no desenvolvimento de espécies vegetais. O efeito da acidez do solo sobre as plantas ocorre principalmente em função das alterações químicas, tais como a solubilização do alumínio (Al), manganês (Mn) e ferro (Fe) e a indisponibilização de alguns elementos na solução do solo, em especial do fósforo (P) (KOCHIAN, 1995). A intensidade com que esses processos ocorrem é dependente da espécie, cultivar ou variedade das plantas. À medida que o valor do pH do solo diminui, aumentam as concentrações de Al, Mn, Fe, Cu e Zn, afetando a absorção e o transporte dos macronutrientes como o Ca, P, N, K e Mg e, também, de alguns micronutrientes como o Mo, Cl e B (KOCHIAN; HOEKENGA; PIÑEROS, 2004). Na Figura 1 pode-se verificar o efeito indireto do pH na atividade de  $H^+$ , alterando a solubilidade dos nutrientes.

Os efeitos indiretos do pH sobre a disponibilidade dos nutrientes estão relacionados com a solubilidade dos mesmos. Quando o valor do pH está abaixo de 7 ocorre diminuição nas concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca e S). Com relação a disponibilidade do fósforo, quando em meio ácido, ele pode ser adsorvido aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Os micronutrientes como Fe, Mn, Cu e Zn são favorecidos pela diminuição do pH do solo, aumentando assim sua disponibilidade; a medida que se eleva o pH, ocorre precipitação desses nutrientes. Já o molibdênio (Mo) e o cloro (Cl) podem ser adsorvidos pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al em meio ácido, mas à medida que se eleva o pH, aumenta a disponibilidade desses elementos (NOVAIS *et al.*, 2007).

Figura 1 – Disponibilidade dos nutrientes em relação ao valor do pH do solo

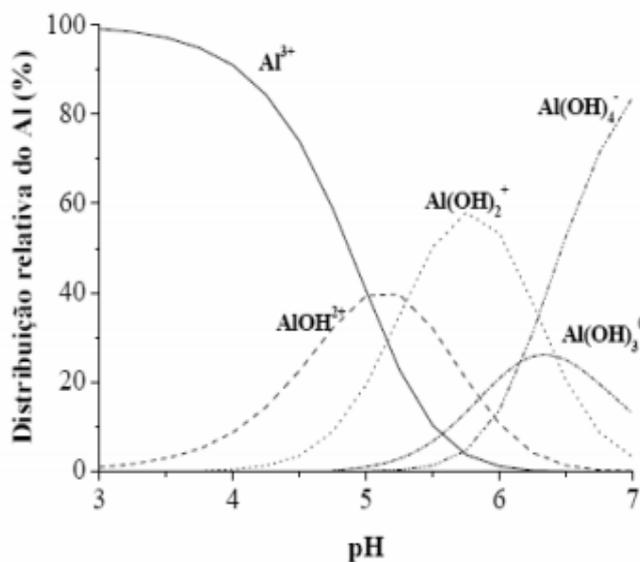


Fonte: Malavolta (2006).

O  $\text{Al}^{3+}$  é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, com cerca de 8% em sua composição, perdendo em ordem de abundância apenas para o oxigênio (O) e o silício (Si). É constituinte de minerais secundários presentes em solos brasileiros como a caulinita e a gibbsita e, em condições de elevada acidez, eles são dissolvidos, aumentando a disponibilidade de  $\text{Al}^{3+}$  nos solos (RAIJ, 2011).

O alumínio no solo pode ocorrer na forma livre ou estar na forma de complexos com os hidróxidos ( $\text{AlOH}_2^+$ ;  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ;  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ), sulfato ( $\text{AlSO}_4^+$ ), fluoreto ( $\text{AlF}_2^+$ ), fosfato ( $\text{AlH}_2\text{PO}_4^{2+}$ ), ligantes orgânicos (Al-orgânico) e, também, na forma de polímeros, sendo encontrados nos solos, dependendo do pH da solução do solo (FIGURA 2) (KOCHIAN, 1995). Nos solos com caráter ácido a forma mais comum de ser encontrada é o  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  e o  $\text{Al}^{3+}$ , que são formas tóxicas para o desenvolvimento das plantas (ZHANG *et al.*, 2007).

Figura 2 – Distribuição relativa das espécies de Al na solução do solo



Fonte: Bertsch e Parker (1995).

Para contornar as altas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  nos solos, duas possibilidades podem ser adotadas: a neutralização do alumínio trocável por meio da calagem, e a utilização de cultivares tolerantes.

A calagem é uma prática que promove outros benefícios além da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ , dentre os quais, o aumento do pH e da disponibilidade de Ca e Mg; esses efeitos, no entanto, ficam restritos à camada de incorporação do calcário no solo. Assim, a baixa disponibilidade de nutrientes e a acidez nas camadas não corrigidas em subsuperfície podem afetar o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, limitar a produção agrícola. Nessas condições, a utilização de genótipos que apresentam tolerância ao  $\text{Al}^{3+}$  pode ser a alternativa viável.

## 2.6 Crescimento das plantas e mecanismos de tolerância ao alumínio

O alumínio da solução do solo pode interferir na divisão celular, causando alteração do crescimento radicular, afetando a absorção de água e nutrientes (HARTWIG *et al.*, 2007; FREITAS; FERNANDES; MAIA, 2015).

Os sintomas de toxicidade de  $\text{Al}^{3+}$  são manifestados nas diversas plantas, tanto nas raízes, nas quais são mais evidentes, podendo inibir seu crescimento, causar o engrossamento e proporcionar coloração escurecida (CONCEIÇÃO; SERENO; BARBOSA NETO, 2008),

como na parte aérea representados por sintomas de deficiência de Ca, Mg, P, N, além dos efeitos devido a interação de um ou mais sintomas (FOY, 1988; FRÁGUAS, 1996).

Normalmente, o alumínio liga-se inicialmente as raízes, interferindo de maneira negativa no processo de alongamento radicular e divisão celular. Como as raízes são as primeiras a entrar em contato com esse elemento, há uma tendência ao maior efeito de toxicidade nessas áreas, pois a medida que esse elemento se acumula ocorre a redução no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo posteriormente, transportado para a parte aérea (KOCHIAN; HOEKENGA; PIÑEROS, 2004; ROSSIELLO; JACOB NETTO, 2006).

Buscando definir a dose de alumínio (Al) que causa toxicidade aos genótipos de cajueiro, Sousa (2017) utilizou cinco doses de Al: 0, 10, 20, 30 e 40 mg L<sup>-1</sup> e oito genótipos como porta-enxertos sendo o ‘CCP 06’, ‘CCP 09’, ‘CCP 76’, ‘CCP 1001’, ‘Embrapa 51’, ‘BRS 189’, ‘BRS 265’ e ‘BRS 275’. Com base nos resultados obtidos os genótipos mais sensíveis aos efeitos do alumínio nas primeiras doses foram o ‘CCP 1001’, o ‘BRS 265’ e o ‘Embrapa 51’, enquanto que os clones ‘BRS 189’ e ‘BRS 275’ são sensíveis ao alumínio a partir de 20 mg L<sup>-1</sup>. Kumar (1981) verificou redução de densidade, alongação e produção de matéria seca de raízes em cajueiro-comum, a partir da dose de 12 mg L<sup>-1</sup> de Al.

Em cafeeiro (*Coffea arabica*), o Al em solução nutritiva diminuiu tanto o crescimento e o volume radicular, quanto o desenvolvimento da parte aérea (BRACCINI *et al.*, 1998a). Mistro, Camargo e Pettinelli Junior (2001), também verificaram diminuição do crescimento do sistema radicular de plantas de trigo expostas ao Al. Para os porta-enxertos de citros, Santos *et al.* (1999) constataram diminuição no crescimento e desenvolvimento tanto no citrumeleiro ‘Swingle’ quanto no limoeiro ‘Cravo’; entretanto, os efeitos mais acentuados foram observados no primeiro. Em espécies florestais, Beutler, Fernandes e Faquin, (2001) verificaram que o aumento da concentração de alumínio diminuiu a altura e a produção de matéria seca de moringa (*Moringa oleifera*) e angico (*Anandenantha peregrina*).

Além da influência direta no desenvolvimento das plantas, diversos autores relatam efeitos do alumínio na absorção de outros elementos. Avaliando o desempenho de dezoito genótipos de arroz (*Oryza sativa*) submetidos ao estresse por Al<sup>3+</sup>, Freitas *et al.* (2006) verificaram diminuição na absorção de fósforo, magnésio, cálcio e potássio. Basso *et al.* (2003) verificaram redução na absorção de cálcio, fósforo e potássio em *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com o aumento das doses de alumínio. Além disso, verificaram alteração no metabolismo celular, com efeitos visuais na parte aérea das plantas (escurecimento, formação de calos e brotações rígidas).

Altas concentrações de  $Al^{3+}$  também causaram diminuição na absorção e no transporte de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e manganês para a parte aérea de goiabeira (*Psidium guajava*) (SALVADOR *et al.*, 2000) e nos teores de nitrogênio e fósforo na parte aérea de moringa e angico (BEUTLER; FERNANDES; FAQUIN, 2001).

Em trigo (*Triticum vulgare*) Abichequer, Bohnen e Anghinoni (2003), buscando identificar a influência do alumínio na absorção, translocação e utilização de fósforo, verificaram que a variedade ‘Toropi’, considerada mais tolerante ao alumínio, foi mais eficiente em relação a absorção, translocação e utilização de fósforo, do que a variedade ‘CNT 8’, considerada sensível. Estudando vinte e cinco genótipos de café quanto a tolerância à toxidez de alumínio, Braccini *et al.* (2000) constataram que as raízes que foram submetidas a presença de alumínio apresentaram coloração amarelada, engrossamento e encurtamento do sistema radicular, enquanto os genótipos na ausência desse elemento, apresentaram raízes longas e finas, com coloração mais clara.

Devido à necessidade de se adaptar a solos de regiões com elevada acidez, as plantas desenvolvem mecanismos de tolerância ao Al. Esses mecanismos podem ser divididos em dois grupos: externo e interno. O mecanismo externo compreende a tolerância no apoplasto, onde o alumínio é impedido de passar para a membrana plasmática. Já o mecanismo interno ocorre no simplasto, imobilizando o alumínio na forma de quelato (RAMPIM; LANA, 2013). Existem espécies que são responsáveis pela produção de ácidos orgânicos que podem atuar como agentes quelantes do Al.

Considerando esses mecanismos, os programas de melhoramento genético utilizam várias técnicas para a seleção de genótipos tolerantes ao  $Al^{3+}$ , por meio de estudos em laboratório, casa de vegetação e em campo (VILLA *et al.*, 2009). Essas técnicas permitem a avaliação de um grande número de genótipos simultaneamente, sendo utilizada com mais frequência para a seleção de espécies anuais tolerantes ao  $Al^{3+}$ ; entretanto, alguns estudos já foram feitos para espécies perenes, como a macieira (*Malus sp.*) (DANTAS *et al.*, 2001), a videira (*Vitis spp.*) (VILLA *et al.*, 2009) e o citros (*Citrus sp.*) (LIN; MYHRE, 1991; PEREIRA *et al.*, 2003).

Em cajueiros, Parente (2000) verificou que o clone ‘Embrapa 51’ apresentou maior índice de tolerância ao alumínio, quando comparado ao ‘CCP 06’, ‘CCP 76’ e ao cajueiro-comum (*Anacardium microcarpum*). Para os resultados de matéria seca da parte aérea e das raízes, a absorção dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram reduzidas com a presença do Al no solo, sendo que a absorção do cálcio foi a mais afetada em relação aos outros nutrientes.

Com isso, a utilização de mudas enxertadas, a partir de combinações de porta-enxerto e copas mais tolerantes ao alumínio, associada às práticas de manejo do solo, são estratégias que podem viabilizar o cultivo do cajueiro em solos ácidos, bem como permitir a expansão para outras regiões, visando o aumento da produtividade desses pomares.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação de genótipos de cajueiro quanto à tolerância ao alumínio, foram conduzidos, simultaneamente, dois experimentos em casa de vegetação: o primeiro com o objetivo de avaliar a influência da enxertia e, o segundo, para verificar o efeito de genótipos utilizados como porta-enxertos e copas.

No primeiro experimento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial de 3 x 2 x 2, sendo três genótipos de cajueiro como porta-enxertos ('CCP 06', 'CCP 76' e 'CCP 09') e dois tipos de mudas (pé-franco e auto-enxertada), cultivadas na ausência e presença de alumínio (30 mg L<sup>-1</sup> de Al) e seis repetições.

Para o segundo experimento adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3 x 2, sendo três genótipos de cajueiro como porta-enxertos ('CCP 06', 'CCP 76' e 'CCP 09'), três como copas ('CCP 76', 'Embrapa 51' e 'BRS 226'), cultivados na ausência e presença de alumínio (30 mg L<sup>-1</sup> de Al) e seis repetições.

Cada unidade experimental foi composta por um vaso contendo duas mudas. No primeiro experimento, tanto os porta-enxertos quanto a dose de alumínio foram selecionados a partir dos resultados obtidos por Sousa (2017). Para o segundo, os genótipos-copa foram selecionados por serem os mais utilizados pelos cajucultores.

Nos dois experimentos as mudas foram produzidas no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, localizado no município de Pacajus, Ceará. Para a produção das mudas de cajueiro foi utilizado como substrato areia lavada. Para a lavagem, a areia foi colocada em solução 10% de HCl (v:v) por cerca de 24 horas, seguida de enxague com água de torneira até a obtenção do pH da mistura água e areia próximo a neutralidade. Em seguida, a areia foi seca e os tubetes com capacidade para 288 mL foram preenchidos. A sementeira foi feita adicionando-se uma castanha-semente de 'CCP 06', 'CCP 76' ou 'CCP 09' por tubete. Nessa fase, os tubetes foram irrigados diariamente por meio de aspersão e não foi feita adubação.

Aos 70 dias após a sementeira (DAS), parte das plantas foi separada e mantida sem enxertia (mudas de pé-franco do primeiro experimento). As demais plantas foram enxertadas por meio de garfagem lateral (FIGURA 3), com garfos 'CCP 06', 'CCP 76' e 'CCP 09' (mudas auto enxertadas) para o primeiro experimento; e com os genótipos 'CCP 76', 'Embrapa 51' e 'BRS 226' para o segundo experimento.

Figura 3 – Processo de enxertia: incisão no porta-enxerto (A), inserção do garfo (B), amarrar da enxertia (C), proteção do garfo com saquinho de plástico (D), mudas recém-enxertadas (E) e pegamento das mudas com a emissão de novas folhas (F).



Fonte: Autora.

Após a enxertia das mudas teve início a aplicação da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), na concentração de 100%, uma vez por semana. Com o pegamento da enxertia as mudas foram transportadas para a casa de vegetação da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, Ceará, onde foram implantados os experimentos.

Após 60 dias da enxertia (DAE), as mudas dos dois experimentos foram transferidas para vasos de plástico com capacidade de 5 L, adaptados com mangueira na lateral, que permitia a drenagem da solução nutritiva (FIGURAS 4 e 5). Cada vaso foi

preenchido com areia lavada e recebeu duas mudas de cajueiro. Após o transplante, as mudas continuaram a receber diariamente a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), a 100% da concentração. Após 3 semanas de aclimação das mudas, iniciou-se a aplicação de solução nutritiva contendo ou não alumínio.

Figura 4 – Vista geral do primeiro experimento, com mudas de pé-franco e auto enxertadas de cajueiro-anão cultivadas na ausência e presença de alumínio na solução nutritiva.



Fonte: Autora.

Após o período de aclimação das plantas, utilizou-se solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) a 20% da concentração de macronutrientes e 100% de micronutrientes. A utilização de solução nutritiva diluída foi adotada por representar melhor as condições da solução do solo (SIMON *et al.*, 1994).

Nos tratamentos com alumínio na solução nutritiva, foram aplicados  $30 \text{ mg L}^{-1}$  de Al na forma de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . De acordo com o software Visual MINTEQ 3.1 (GUSTAFSSON, 2012), as interações do alumínio com os demais elementos químicos na solução nutritiva resultaram em 71,5%; 9,4%; 5,6%; 5,4% e 8,1% nas formas de  $\text{Al}^{3+}$ ;  $\text{AlSO}_4^+$ ;  $\text{Al}_2\text{PO}_4^{3+}$ ;  $\text{AlHPO}_4^+$  e de outras formas respectivamente. O pH em água, da solução nutritiva, tanto na ausência quanto na presença do alumínio foi mantido na faixa de 4,0 por meio da adição de HCl 1 M, para evitar a precipitação do alumínio. A solução nutritiva foi aplicada diariamente no início da manhã em todas as mudas de cajueiro e a drenagem era feita quando necessária.

Figura 5 – Vista geral do segundo experimento, com mudas enxertadas de cajueiro cultivadas na ausência e presença de alumínio na solução nutritiva.



Fonte: Autora.

Aos 110 dias após o início da aplicação (equivalente 190 dias após a enxertia) da solução nutritiva nos dois experimentos, as mudas de cajueiro foram avaliadas em relação aos seguintes parâmetros: altura das mudas (do colo à gema apical), diâmetro do caule a 5 cm do colo (ponto de enxertia), número de folhas e área foliar. A altura de plantas foi determinada com o auxílio de trena. O diâmetro do caule foi mensurado com o auxílio de paquímetro digital. O número de folhas foi determinado por meio de contagem de todas as folhas da planta. A área foliar foi determinada por meio do integrador de área foliar LI-3100C, LICOR®.

Posteriormente, foram separadas as folhas, caules e raízes das plantas. As folhas e o caule foram lavados com água, ácido clorídrico a 3% (v:v) e água deionizada, colocadas em saco de papel e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. Após a secagem foram determinadas as massas das matérias secas de folhas e caule. As raízes foram lavadas em água, solução de EDTA 0,02 mol L<sup>-1</sup>, ácido clorídrico a 3% (v:v) e água deionizada (SALVADOR *et al.*, 2000). Posteriormente, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar até massa constante para a obtenção da massa de matéria seca de raízes.

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambos os experimentos não foram observados sintomas visuais de toxicidade do alumínio nas folhas de cajueiro com a aplicação de  $30 \text{ mg L}^{-1}$  durante os 110 dias de condução do experimento. A toxicidade do alumínio nas folhas foram observadas para espécies como goiabeira (*Psidium guajava*) nas seguintes doses ( $20$  e  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de Al) (SALVADOR *et al.*, 2000), macieira (*Malus* sp.) ( $7 \text{ mg L}^{-1}$  de Al) (DANTAS *et al.*, 2001), cafeeiro (*Coffea arábica*) ( $0,296 \text{ mmol L}^{-1}$  de Al) (BRACCINI *et al.*, 1998a) e espécies florestais (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) ( $27,0 \text{ mg L}^{-1}$  de Al) (BASSO *et al.*, 2003).

Para esse estudo, as ações fitotóxicas do alumínio relacionaram-se mais com a parte aérea, do que com o sistema radicular das mudas de cajueiro-anão.

### 4.1 Influência da enxertia na tolerância ao alumínio

As características altura, diâmetro, número de folhas e área foliar das mudas de cajueiro foram influenciadas tanto pelo tipo de muda (pé-franco ou enxertada), quanto pela presença do alumínio (TABELA 1). Entre os clones houve diferenças entre eles apenas para altura, em que as mudas do ‘CCP 09’ se mostraram menores.

A utilização de mudas enxertadas proporcionou maior diâmetro médio do caule com  $13,7 \text{ mm}$  em relação as mudas de pé-franco com  $12,2 \text{ mm}$ . A presença do alumínio na solução nutritiva diminuiu em  $0,9 \text{ mm}$  o diâmetro do caule das mudas de cajueiro. O diâmetro do caule pode ser uma característica que influencia a sobrevivência das mudas no campo.

O número de folhas diferiu entre os tipos de mudas utilizadas, sendo que as de pé-franco apresentaram maior número de folhas quando comparadas com as mudas enxertadas (TABELA 1). Esse resultado pode ser considerado normal, pois no processo de enxertia por garfagem lateral é realizado o corte da parte aérea dos porta-enxertos para a incisão do garfo, com isso a emissão de novas folhas ocorre após um período entre 20 a 30 dias, enquanto que as mudas do tipo pé-franco não passam por essa fase de crescimento de novas folhas (SERRANO; CAVALCANTI JUNIOR, 2016).

A presença do alumínio, de forma geral, promoveu a diminuição de  $6,7\%$ ;  $25,7\%$ ;  $43,2\%$ ;  $6,3\%$  para os parâmetros de altura, diâmetro, número de folhas e área foliar respectivamente.

Tabela 1 - Desenvolvimento de mudas de cajueiro-anão em função dos clones, tipos de mudas e alumínio<sup>(1)</sup>

Fatores		Diâmetro médio	Altura	Número de folhas	Área foliar
		----- mm-----	----- cm -----		----- cm <sup>2</sup> -----
Clone	‘CCP 06’	12,9 a <sup>1</sup>	45,2 a	21,3 a	1024 a
	‘CCP 09’	13,0 a	39,6 b	23,7 a	1009 a
	‘CCP 76’	13,0 a	45,2 a	20,8 a	966 a
Tipo	Pé-franco	12,2 b	48,0 a	23,6 a	1117 a
	Enxertada	13,7 a	38,7 b	20,3 b	882 b
Alumínio	Ausência	13,4 a	49,7 a	28,0 a	1301 a
	Presença	12,5 b	36,9 b	15,9 b	698 b
-----					
Teste F <sup>2</sup>					
Clone (C)		0,021 <sup>ns</sup>	4,651*	2,393 <sup>ns</sup>	0,544 <sup>ns</sup>
Tipo (T)		23,031**	28,578**	8,433**	24,593**
Alumínio (A)		9,067**	54,362**	116,185**	161,528**
C x T		2,389 <sup>ns</sup>	5,136**	1,136 <sup>ns</sup>	1,246 <sup>ns</sup>
C x A		1,816 <sup>ns</sup>	1,200 <sup>ns</sup>	0,967 <sup>ns</sup>	1,478 <sup>ns</sup>
T x A		0,028 <sup>ns</sup>	0,933 <sup>ns</sup>	0,620 <sup>ns</sup>	9,229**
C x T x A		0,192 <sup>ns</sup>	1,821 <sup>ns</sup>	0,831 <sup>ns</sup>	0,457 <sup>ns</sup>
CV (%)		10,29	17,05	21,82	20,12

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fator na coluna, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>2ns</sup>, \*\* e \*: Não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

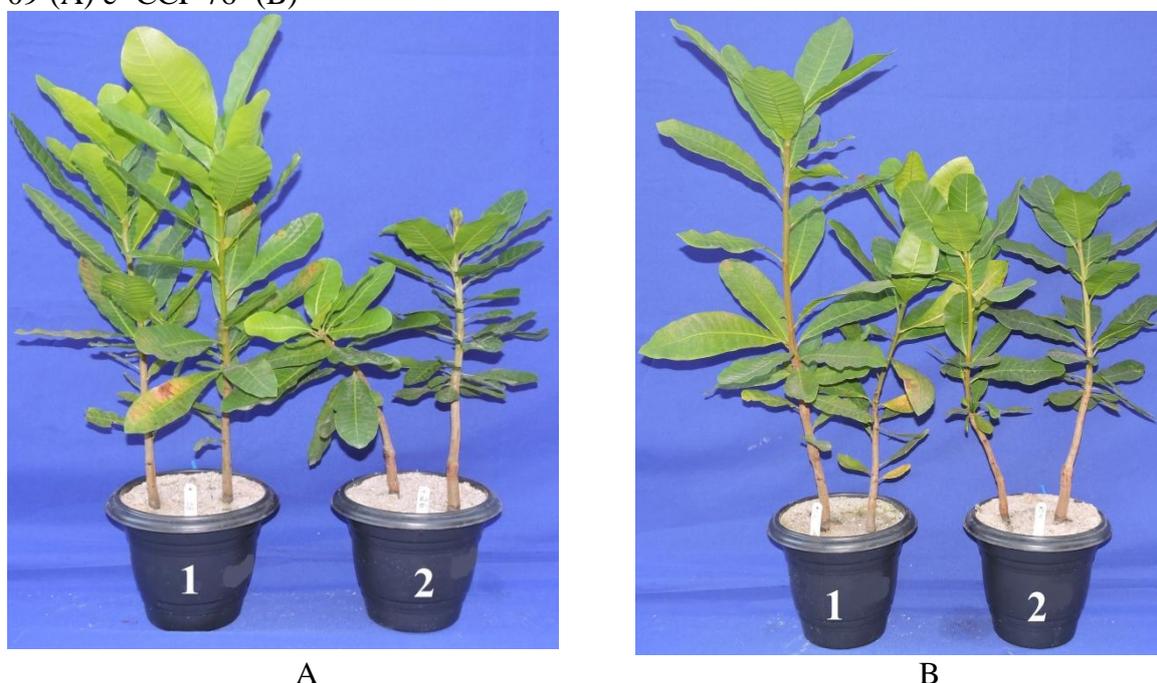
A interação de clones e tipos de mudas de cajueiro-anão foi significativa para a variável altura (TABELA 2). As mudas de cajueiro-anão de pé-franco ‘CCP 09’ e ‘CCP 76’ apresentaram maior altura, quando comparadas com as enxertadas (FIGURA 6). O clone que apresentou maior diminuição na altura com a enxertia foi o ‘CCP 09’ (29,1%), quando comparado ao clone ‘CCP 76’ (25,0%). Novamente, o próprio processo de enxertia pode ter influenciado nesses resultados, uma vez que as mudas enxertadas passam por um período de adaptação até o estabelecimento do transporte de nutrientes para todas as partes da planta, podendo resultar na variação da altura entre as mudas de pé-franco e enxertadas (SERRANO; CAVALCANTI JUNIOR, 2016).

Tabela 2 - Altura de mudas de cajueiro-anão em função dos clones e dos tipos de mudas <sup>(1)</sup>

Clones	Tipos de mudas	
	Pé-franco	Enxertada
	----- Altura, cm -----	
‘CCP 06’	45,9 Aa <sup>1</sup>	44,5 Aa
‘CCP 09’	46,3 Aa	32,8 Bb
‘CCP 76’	51,6 Aa	38,7 ABb

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 6 - Altura de mudas de pé franco (1) e enxertadas (2) de cajueiro-anão clones ‘CCP 09’(A) e ‘CCP 76’ (B)



Fonte: Autora.

A área foliar das mudas de cajueiro-anão se correlaciona diretamente com a área da superfície fotossintetizante útil e foi observado efeito da interação em função dos tipos de mudas e do alumínio (TABELA 3). O efeito do alumínio foi verificado para os dois tipos de mudas, que apresentaram menor área foliar do que as mudas na ausência do elemento na solução nutritiva. Para as mudas de pé-franco e enxertadas de cajueiro-anão, a diminuição observada na área foliar foi de 50,0% e 41,2% respectivamente.

Para pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*), Lana *et al.* (2013) verificaram diminuição da área foliar de 818 cm<sup>2</sup> para cada incremento de 1 mol L<sup>-1</sup> da atividade do alumínio na solução nutritiva. Em genótipos de cafeeiro, a dose de 0,296 mmol L<sup>-1</sup> de Al

também resultou na redução da área foliar (BRACCINI *et al.*, 1998a). Para *Citrus* spp., Pereira (2000) constatou diminuição da área foliar com a presença do alumínio em solução nutritiva. De acordo com o autor, essa diminuição da área foliar está ligada à menor produção de fotoassimilados que são utilizados para o crescimento, devido ao efeito do alumínio na redução da taxa fotossintética, afetando, dessa maneira, o crescimento da parte aérea dos porta-enxertos.

Tabela 3 - Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função dos tipos de mudas e do alumínio<sup>(1)</sup>

Tipos de mudas	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- Área foliar, cm <sup>2</sup> -----	
Pé-franco	1490 Aa	744 Ab
Enxertada	1111 Ba	653 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área foliar da planta é responsável pela interceptação de luz e transpiração da planta (MONTEITH; MOSS, 1977); sendo assim, a diminuição da área foliar causada pelo alumínio pode interferir na absorção de água e de nutrientes, afetando todo o desenvolvimento das plantas.

Na produção de matéria seca da parte aérea (caule e folhas) houve diferença entre os clones, os tipos de mudas e a presença do alumínio na solução nutritiva (TABELA 4). O clone ‘CCP 76’ obteve maior produção de matéria seca da parte aérea, quando comparado com o clone ‘CCP 09’.

As mudas de pé-franco apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea quando comparadas com as que foram enxertadas (TABELA 4). Esse resultado pode ser considerado normal, pois no processo de enxertia é realizado o corte da parte aérea dos porta-enxertos, esse processo provoca a diminuição no número de folhas nas mudas enxertadas.

Na solução nutritiva acrescida de alumínio, a produção de matéria seca da parte aérea foi 30,6% menor, do que a produção observada para as mudas de cajueiro na ausência do alumínio (TABELA 4). Resultados semelhantes foram encontrados para plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L., Moench) e de soja (*Glycine max* L.) (PEREIRA *et al.*, 2008; NOLLA; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2007), ocorrendo a diminuição na produção da matéria seca da parte aérea, na presença do alumínio.

Já para a macieira, Dantas *et al.* (2001) com a adição de 7 mg L<sup>-1</sup> de alumínio, verificaram redução significativa da matéria seca da parte aérea do porta-enxerto M.9 e dos somaclones M.9<sub>39</sub> e M.9<sub>22</sub>. Em estudos com clones de café conilon (*Coffea canephora*) e do Catuaí Amarelo (*Coffea arabica*), Mattiello *et al.* (2008) constataram que com o aumento das doses de alumínio (0, 500, 1.000 e 2.000 µmol L<sup>-1</sup>) houve diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes. A diminuição na concentração de cálcio nas raízes nos dois clones estudados ocorreu devido à competição do cálcio e do alumínio pelo mesmo sítio de absorção de nutrientes, acarretando na menor produção de matéria seca de raízes e parte aérea. Essa explicação pode também ajudar a elucidar as menores produções de matéria seca de raízes e da parte aérea obtidas nesse experimento para o cajueiro.

Tabela 4 - Produção de matéria seca de mudas de cajueiro-anão em função dos clones, tipos de mudas e alumínio

Fatores	Matéria seca					Parte aérea:raízes	
	Caule	Folhas	Parte aérea	Raízes	Total		
----- g por planta -----							
Clones	‘CCP 06’	9,68 ab <sup>1</sup>	7,13 b	16,81 b	7,23 ab	24,04 b	2,36 a
	‘CCP 09’	9,59 b	7,82 ab	17,41 ab	6,69 b	24,10 ab	2,62 a
	‘CCP 76’	11,22 a	8,46 a	19,68 a	7,95 a	27,63 a	2,51 a
Tipos	Pé-franco	11,00 a	8,29 a	19,30 a	7,93 a	27,22 a	2,47 a
	Enxertada	9,32 b	7,31 b	16,63 b	6,66 b	23,29 b	2,52 a
Alumínio	Ausência	11,94 a	10,10 a	20,04 a	8,57 a	30,60 a	2,65 a
	Presença	8,38 b	5,51 b	13,89 b	6,02 b	19,91 b	2,34 b
----- Teste F <sup>2</sup> -----							
Clone (C)		3,725*	3,658*	3,887*	3,319*	3,909*	2,684 <sup>ns</sup>
Tipo (T)		9,447**	5,953*	9,037**	10,108**	10,761**	0,319 <sup>ns</sup>
Alumínio (A)		42,173**	130,654**	84,474**	40,811**	79,560**	10,667**
C x T		6,167**	0,340 <sup>ns</sup>	3,017 <sup>ns</sup>	4,486*	3,404*	5,662**
C x A		0,860 <sup>ns</sup>	2,771 <sup>ns</sup>	1,488 <sup>ns</sup>	3,469*	2,275 <sup>ns</sup>	2,270 <sup>ns</sup>
T x A		0,007 <sup>ns</sup>	8,313**	1,566 <sup>ns</sup>	1,252 <sup>ns</sup>	1,684 <sup>ns</sup>	0,454 <sup>ns</sup>
C x T x A		1,670 <sup>ns</sup>	1,088 <sup>ns</sup>	1,616 <sup>ns</sup>	1,689 <sup>ns</sup>	1,787 <sup>ns</sup>	1,004 <sup>ns</sup>
CV (%)		22,90	21,80	20,93	23,24	20,15	15,66

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fator na coluna, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>2ns</sup>, \*\* e \*: Não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Diferenças foram verificadas para a produção de matéria seca de caule, matéria seca de raízes, matéria seca total e relação parte aérea:raízes com a interação tipos de clones e de mudas de cajueiro-anão (TABELA 5).

Tabela 5 - Matéria seca de caule, raízes e total e relação parte aérea:raízes de mudas de cajueiro-anão em função dos clones e dos tipos de mudas<sup>(1)</sup>

Clones	Tipos de mudas	
	Pé-franco	Enxertada
	----- Matéria seca de caule, g por planta -----	
‘CCP 06’	10,04 Ba	9,32 Aa
‘CCP 09’	9,57 Ba	9,61 Aa
‘CCP 76’	13,41 Aa	9,03 Ab
	----- Matéria seca de raízes, g por planta -----	
‘CCP 06’	8,14 Aba	6,31 Ab
‘CCP 09’	6,49 Ba	6,89 Aa
‘CCP 76’	9,14 Aa	6,76 Ab
	----- Matéria seca total, g por planta -----	
‘CCP 06’	25,59 Ba	22,49 Aa
‘CCP 09’	24,40 Ba	23,81 Aa
‘CCP 76’	31,68 Aa	23,57 Ab
	----- Relação parte aérea:raízes -----	
‘CCP 06’	2,14 Bb	2,58 Aa
‘CCP 09’	2,78 Aa	2,46 Aa
‘CCP 76’	2,50 Aba	2,53 Aa

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção de matéria seca de caule do clone ‘CCP 76’ foi de 13,41 g por planta, quando as mudas eram provenientes de pé-franco, e de 9,03 g por planta para as mudas enxertadas. Já para a produção de matéria seca de raízes foi observada diferença entre os tipos de mudas e clones, sendo que os genótipos de pé-franco ‘CCP 06’ e ‘CCP 76’ apresentaram produção de matéria seca de raízes maior, quando comparada com as mudas enxertadas desses mesmos clones. As mudas do clone ‘CCP 76’ apresentaram diferenças significativa na produção de matéria seca total entre as mudas provenientes de pé-franco (31,68 g por planta) e as enxertadas (23,57 g por planta).

Mudas de cajueiro-anão enxertadas do clone ‘CCP 06’ diferiram das mudas de pé-franco quanto a relação parte aérea:raízes, sendo a maior relação observada para as mudas enxertadas. As mudas de pé-franco diferiram entre os clones ‘CCP 09’ e ‘CCP 06’, sendo a maior relação parte aérea:raízes verificada para o ‘CCP 09’ (2,78).

A produção de matéria seca de folhas entre as mudas de pé-franco e enxertadas diferiram para a interação tipos de mudas e alumínio (TABELA 6).

Tabela 6 – Matéria seca de folhas de cajueiro-anão em função dos tipos de mudas e do alumínio <sup>(1)</sup>

Tipos de mudas	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- Folhas, g por planta -----	
Pé-franco	11,16 Aa	5,42 Ab
Enxertada	9,03 Ba	5,60 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As mudas de pé-franco apresentaram diminuição de 51,4% na produção de matéria seca de folhas na presença do alumínio, enquanto que para as mudas enxertadas essa redução foi de 38%.

Pereira *et al.* (2003), para *Citrus* spp., observaram menor produção de matéria seca das folhas na presença do alumínio em todos os porta-enxertos em solução nutritiva, confirmando o efeito negativo do alumínio nesse parâmetro. O efeito menos pronunciado do alumínio nas mudas enxertadas pode ser explicado pelo fato de que a enxertia ajuda a amenizar os efeitos causados pelo estresse na diminuição do conteúdo de clorofila (LIU *et al.*, 2007) e da menor atividade fotoquímica do fotossistema II (HE *et al.*, 2009). Efeitos de salinidade também são amenizados com o processo de enxertia (HE *et al.*, 2009).

Diferenças foram encontradas para a produção de matéria seca de raízes com a interação de clones e alumínio (TABELA 7). Os clones ‘CCP 09’ e ‘CCP 76’ apresentaram diminuição na produção de matéria seca de raízes de 32,4% e 38,7%, respectivamente, em relação às plantas que cresceram na ausência do alumínio.

Pereira *et al.* (2008) em duas cultivares de sorgo, tolerante e sensível, constataram redução na produção de matéria seca de raízes de 42,8% para cultivar tolerante e 58,7% para a sensível. Veloso *et al.* (1995), na cultura da pimenteira do reino (*Piper nigrum* L.), observaram decréscimo na produção de matéria seca de raízes em doses superiores a 20 mg L<sup>-1</sup>, além de diminuições nas concentrações de P, Ca, Mg, e Fe nas raízes.

A ausência de efeitos significativos para a produção de matéria seca de raízes do clone ‘CCP 06’ pode indicar maior tolerância aos efeitos de toxidez do alumínio, em comparação aos clones ‘CCP 09’ e ‘CCP 76’.

Tabela 7 - Matéria seca de raízes de cajueiro-anão em função dos clones e do alumínio <sup>(1)</sup>

Clones	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- Raízes, g por planta -----	
‘CCP 06’	7,85 Ba	6,61 Aa
‘CCP 09’	7,99 Ba	5,40 Ab
‘CCP 76’	9,86 Aa	6,04 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas possuem mecanismos de tolerância ao alumínio que podem ser divididos em dois grupos: o de exclusão e o de desintoxicação. O primeiro está relacionado com a exsudação de ácidos orgânicos (malato, citrato e oxalato) pelas raízes, podendo proporcionar a complexação do alumínio e a modificação do pH da rizosfera. No segundo grupo, correspondente aos mecanismos de desintoxicação interna, a fixação do alumínio pode ocorrer na parede celular e sua complexação no simplasto se dá por meio de ligantes orgânicos (KOCHIAN; HOEKENGA; PIÑEROS, 2004). Kochian, Piñeros e Hoekenga (2005) relataram que exsudação ácida de citrato é importante para neutralizar o efeito tóxico do Al em muitas culturas, impedindo o movimento do  $Al^{3+}$  para outra parte da planta.

Em plântulas de soja, Nolla, Schlindwein e Anghinoni (2007) verificaram decréscimos na produção de matéria seca de raízes, a medida em que aumentaram as doses (0; 0,3; 0,6 e 1,2 mmol L<sup>-1</sup>) de alumínio no solo. A interferência do alumínio no desenvolvimento de espécies vegetais, com prejuízo para o sistema radicular também foi observada por Macedo *et al.* (2011) em mudas de pinhão-manso nas concentrações de (0; 3; 4,5 e 6 mg L<sup>-1</sup>) de alumínio em solução nutritiva.

Com base nos resultados obtidos para o presente estudo, observa-se que a atividade elevada do Al na solução nutritiva afeta o crescimento e o desenvolvimento normal das plantas de cajueiro, tanto as de pé-franco quanto as enxertadas, porém, enfatizando que não foram observadas manifestações dos sintomas visuais da toxicidade do elemento nas folhas.

#### 4.2 Interação porta-enxerto e copa na tolerância ao alumínio

As mudas enxertadas de cajueiro-anão foram influenciadas pelo porta-enxerto, tipo de copa, presença do alumínio na solução nutritiva e pela interação entre os fatores

(TABELA 8), levando a padrões diferenciados de crescimento da parte aérea e do sistema radicular.

Tabela 8 - Desenvolvimento de mudas enxertadas de cajueiro em função do porta-enxerto, copa e alumínio <sup>(1)</sup>

Fatores		Diâmetro médio	Altura	Número de folhas	Área foliar
		do caule			
		----- mm-----	---- cm ----		----- cm <sup>2</sup> ----
Porta-enxerto	‘CCP 06’	14,6 b	42,8 a	22,3 a	1157 ab
	‘CCP 09’	15,4 a	39,2 b	21,4 ab	1069 b
	‘CCP 76’	14,2 b	42,4 ab	20,4 b	1195 a
Copa	‘CCP 76’	14,3 b	43,8 a	21,2 a	1014 c
	‘BRS 226’	14,5 b	36,8 b	21,1 a	1147 b
	‘Embrapa 51’	15,3 a	43,8 a	21,8 a	1260 a
Alumínio	Ausência	15,0 a	49,4 a	27,1 a	1469 a
	Presença	14,5 b	33,4 b	15,6 b	812 b
-----					
Teste F <sup>2</sup>					
Porta-enxerto (P)		8,307**	3,821*	3,451*	4,756**
Copa (C)		6,595**	16,029**	0,615 <sup>ns</sup>	17,244**
Alumínio (A)		3,771 <sup>ns</sup>	188,609**	381,967**	367,002**
P x C		0,353 <sup>ns</sup>	3,921**	5,411**	4,327**
P x A		1,912 <sup>ns</sup>	8,192**	3,167*	9,057**
C x A		0,054 <sup>ns</sup>	2,651 <sup>ns</sup>	1,966 <sup>ns</sup>	7,587**
P x C x A		0,632 <sup>ns</sup>	1,745 <sup>ns</sup>	3,498**	2,544*
CV (%)		8,27	14,61	14,28	15,61

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fator na coluna, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>2ns</sup>, \*\* e \*: Não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

A utilização do ‘CCP 09’ como porta-enxerto resultou em maior diâmetro médio do caule em relação aos demais genótipos, porém com menores altura em relação ao ‘CCP 06’ e área foliar em relação ao ‘CCP 76’ (TABELA 8).

Quanto aos clones copas, o genótipo Embrapa 51 propiciou os maiores valores de diâmetro médio do caule e área foliar em relação ao ‘CCP 76’ e ‘BRS 226’ (TABELA 8). O número de folhas das mudas enxertadas não diferiu entre os clones. Resultados semelhantes foram encontrados por Cavalcante (2009) quando avaliou a combinação de copa e porta-enxerto em cajueiro-anão, em que os maiores diâmetros médio do caule foram verificados para os genótipos ‘CCP 09’, ‘CAC 40’ e ‘CAC 38’. Essa variação no diâmetro médio do caule está associada com as características intrínsecas de cada clone.

No geral, a presença do alumínio provocou decréscimos no diâmetro médio do caule, altura, número de folhas e área foliar das mudas enxertadas (TABELA 8).

A interação entre porta-enxerto e copa proporcionou diferenças na altura, número de folhas e área foliar das mudas enxertadas de cajueiro-anão (TABELA 9). Esses resultados comprovam que o porta-enxerto de cajueiro influencia as características biométricas das mudas. As mudas enxertadas de ‘BRS 226’ não foram influenciadas pelos porta-enxertos quanto a altura, número de folhas e área foliar, enquanto que as mudas de ‘CCP 76’ e ‘Embrapa 51’ foram influenciadas pelos porta-enxertos. Os menores valores foram identificados nas combinações ‘CCP 76’/‘CCP 76’ e ‘CCP 09’/‘Embrapa 51’.

Os resultados encontrados neste estudo corroboram os verificados por Cavalcante (2009) que avaliou a combinação porta-enxerto e copas de cajueiro-anão, constatando que as mudas de cajueiro enxertadas com o clone ‘CCP 76’ apresentaram maior altura do que as do ‘BRS 226’. Com esses resultados, observa-se que o uso de combinações de porta-enxerto e copa, resulta em diferenças no porte da planta, pois, as mesmas possuem características diferentes.

Tabela 9 - Altura, número de folhas e área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e da copa <sup>(1)</sup>

Porta-enxerto	Copa		
	‘CCP 76’	‘BRS 226’	‘Embrapa 51’
	----- Altura, cm -----		
‘CCP 06’	47,8 Aa	37,9 Ab	42,7 ABab
‘CCP 09’	43,3 Aba	33,4 Ab	40,9 Ba
‘CCP 76’	40,3 Bb	39,1 Ab	47,7 Aa
	----- Número de folhas -----		
‘CCP 06’	23,3 Aa	20,8 Aa	22,8 Aa
‘CCP 09’	21,3 Aba	21,0 Aa	19,0 Ba
‘CCP 76’	19,0 Bb	21,5 Aab	23,8 Aa
	----- Área foliar, cm <sup>2</sup> -----		
‘CCP 06’	1063 Ab	1101 Ab	1307 Aa
‘CCP 09’	1021 Aa	1109 Aa	1077 Ba
‘CCP 76’	957 Ab	1232 Aa	1396 Aa

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para mudas de cajueiro, Serrano *et al.* (2013) também constataram que os porta-enxertos ‘CCP 09’, ‘CCP 76’, ‘CCP 1001’, ‘Embrapa 51’, ‘BRS 189’ e ‘BRS 265’ foram os

que obtiveram as maiores alturas em relação aos demais genótipos estudados. No entanto, Serrano *et al.* (2015) em estudos posteriores, com plantas adultas cultivadas em sequeiro verificaram que as plantas que foram enxertadas com o clone 'BRS 226' tiveram maior altura do que as do clone 'CCP 76'.

O maior número de folhas foi obtido quando se utilizou a combinação do porta-enxerto 'CCP 76' com a copa 'Embrapa 51', comparado com a copa 'CCP 76' (TABELA 9). Por outro lado, Serrano *et al.* (2013) verificaram que quando utilizaram os porta-enxertos 'CCP 76', 'Embrapa 50', 'Embrapa 51' e 'BRS 275' com o genótipo-copa 'CCP 76' esses propiciaram maior número de folhas.

Para o parâmetro área foliar, a combinação do porta-enxerto 'CCP 76' com as copas 'Embrapa 51' e a 'BRS 226' foram as que apresentaram os maiores valores, quando comparado com a copa 'CCP 76'. Já a combinação do porta-enxerto 'CCP 06' com a copa 'Embrapa 51' apresentou maior valor de área foliar quando comparado com as copas 'CCP 76' e 'BRS 226'. Independente das copas utilizadas ('CCP 76', 'BRS 226' e 'Embrapa 51') não foi verificada diferença na área foliar para o porta-enxerto 'CCP 09'. Para Yetisir e Sari (2003) o maior desenvolvimento da parte aérea pode ser devido a maior capacidade de manter maior assimilação líquida de CO<sub>2</sub>. Para os autores, tanto o porta-enxerto quanto a copa pode afetar o desempenho estomático da planta e a menor área foliar das plantas pode ser resultado da inibição da fotossíntese líquida, o que diminui a disponibilidade de assimilados para o crescimento foliar.

Para a altura de plantas, número de folhas e área foliar houve interação entre o genótipo utilizado como porta-enxerto e a presença do alumínio (TABELA 10). Para essas três variáveis foi observado menor desenvolvimento da planta na presença do alumínio na solução nutritiva. Esses resultados corroboram com a afirmação feita por Massot, Poschenrieder e Barcelo (1992), de que não só o sistema radicular, mas o desenvolvimento da parte aérea devem ser considerados para a avaliação de plantas tolerantes ao alumínio, pois os danos no sistema radicular podem resultar em menor crescimento da parte aérea. Para os porta-enxertos de citros, Santos *et al.* (1999) constataram diminuição no crescimento e no desenvolvimento tanto para o citrumeleiro 'Swingle' quanto para o limoeiro 'Cravo', quando submetidos a doses de alumínio de até 30 mg L<sup>-1</sup> em solução nutritiva, com efeitos mais acentuado no primeiro porta-enxerto.

Considerando a altura das mudas de cajueiro para os três porta-enxertos 'CCP 06', 'CCP 09' e 'CCP 76', na presença do alumínio verificou-se menor desenvolvimento das plantas, com diferenças de 40,8%; 23,4% e 31,3% respectivamente (FIGURA 7), em relação

às desenvolvidas na ausência do elemento. Dentre os porta-enxertos, o ‘CCP 06’ foi o que apresentou a maior redução na altura com a presença do alumínio.

Tabela 10 - Altura, número de folhas e área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do porta-enxerto e do alumínio <sup>(1)</sup>

Porta-enxerto	Alumínio	
	Ausência	Presença
----- Altura, cm -----		
‘CCP 06’	53,7 Aa	31,8 Ab
‘CCP 09’	44,4 Ba	34,0 Ab
‘CCP 76’	50,2 Aa	34,5 Ab
----- Número de folhas -----		
‘CCP 06’	29,0 Aa <sup>1</sup>	15,6 Ab
‘CCP 09’	25,3 Ba	15,4 Ab
‘CCP 76’	27,0 Aba	15,8 Ab
----- Área foliar, cm <sup>2</sup> -----		
‘CCP 06’	1559 Aa	754 Ab
‘CCP 09’	1298 Ba	840 Ab
‘CCP 76’	1548 Aa	843 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 7 - Altura de mudas de cajueiro-anão clones ‘CCP 06’ (A), ‘CCP 09’ (B) e ‘CCP 76’ (C) em diferentes porta-enxerto e em função do alumínio.



A

B

C

Fonte: Autora.

Em mudas de cajueiro Parente (2000), verificando a influência do alumínio presente no solo sobre o crescimento das mudas, também constatou que houve redução de 34%; 37%; 39% e 50% na altura para as mudas ‘Embrapa 51’, ‘CCP 06’, ‘CCP 76’ e microcarpo. Em experimento com mudas de goiabeira, Salvador *et al.* (2000) verificaram menor altura nas doses de Al acima de 15 mg L<sup>-1</sup> em solução nutritiva. Diminuição da altura na presença do alumínio também foi verificada para mudas de mamoneira (*Ricinus communis*) (LIMA *et al.*, 2007), macieira (*Malus sp.*) (Dantas *et al.*, 2001), pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (GORDIN *et al.*, 2013), milho (*Zea mays* L.) (BATISTA *et al.*, 2013) e para as espécies florestais moringa (*Moringa oleífera*) e angico (*Anandenantha peregrina*) (BEUTLER; FERNANDES; FAQUIN, 2001).

O crescimento em altura de plantas pode ser uma característica desejável, desde que futuramente esse crescimento seja convertido em produtividade, sem causar aumentos dos custos de produção (TOMAZ *et al.*, 2005). Konrad *et al.* (2005) observaram que plantas de cafeeiro na presença do alumínio em solução nutritiva apresentaram diminuição no crescimento, relacionando com a redução da atividade fotossintética das mesmas. Em citros, avaliando combinações de porta-enxertos e copas, Liao *et al.* (2015) verificaram que a diminuição da fotossíntese foi induzida pelo alumínio.

Independentemente do porta-enxerto, a aplicação do alumínio na solução nutritiva diminuiu o número de folhas das mudas de cajueiro (TABELA 10). Os porta-enxertos ‘CCP 06’, ‘CCP 09’ e ‘CCP 76’, na presença do alumínio, tiveram o número de folhas afetadas de maneira significativa, resultando em redução de 46,2%; 39,1% e 41,4% no número de folhas, respectivamente, em relação às plantas que se desenvolveram em solução nutritiva na ausência do alumínio. Na ausência do alumínio, as mudas enxertadas sobre o ‘CCP 09’ apresentaram menor número de folhas, principalmente devido ao observado com o ‘Embrapa 51’ (TABELA 9). No entanto, quando na presença do alumínio, não foi verificada diferença no número de folhas (média de 15,6 folhas por planta).

Em mudas de cajueiro, Sousa (2017) verificou que houve redução no número de folhas para os genótipos ‘Embrapa 51’, ‘BRS 265’ e ‘BRS 189’ utilizados como porta-enxertos na presença do alumínio em solução nutritiva. Para plântulas de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) na dose de 50 mg L<sup>-1</sup> de alumínio, o número de folhas foi reduzido à metade, comparada as que se desenvolveram na ausência do alumínio (MENDES *et al.*, 2018). Resultados semelhantes de experimentos em solução nutritiva têm sido verificados por alguns pesquisadores para o alumínio em solo. Parente (2000) constatou menor número de folhas na concentração de 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> com redução de 21%, 43%, 43% e 56% para as mudas

‘Embrapa 51’, ‘CCP 76’, microcarpo e ‘CCP 06’, respectivamente, sendo o ‘CCP 06’ o que apresentou maior diminuição no número de folhas. Silva (1995) também observou menor número de folhas em mudas de cajueiro com o aumento da concentração de alumínio no solo.

A área foliar do genótipo ‘CCP 06’ foi a mais prejudicada na presença do alumínio em solução nutritiva, embora todos os genótipos tenham sofrido reduções (TABELA 10). A área foliar se correlaciona diretamente com a área da superfície fotossintetizante útil da planta.

Observou-se interação significativa entre os clones copa e a presença do alumínio (TABELA 11). O Alumínio proporcionou diminuição na área foliar independentemente do tipo de copa utilizada para a enxertia (‘CCP 76’, ‘BSR 226’ e ‘Embrapa 51’). Na presença do alumínio as plantas apresentaram redução de 37,8%; 50,8% e 44,3% na área foliar dos clones ‘CCP 76’, ‘BRS 226’ e ‘Embrapa 51’, respectivamente, em relação a ausência do elemento. Na ausência do alumínio as mudas de ‘BRS 226’ e ‘Embrapa 51’ apresentaram maior área foliar do que as de ‘CCP 76’, enquanto que na presença as mudas de ‘BRS 226’ diferiram das ‘Embrapa 51’.

Tabela 11 - Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de copa e do alumínio <sup>(1)</sup>

Copa	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- cm <sup>2</sup> -----	
‘CCP 76’	1250 Ba	778 ABb
‘BRS 226’	1538 Aa	756 Bb
‘Embrapa 51’	1618 Aa	902 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A menor diminuição de área foliar pode vir a ser um parâmetro importante para a escolha do clone quanto a sua tolerância ao alumínio, visto que as plantas possuem uma maior área de contato para absorver energia luminosa e transformar em energia química pelo processo de fotossíntese.

Da mesma forma que ocorreu com as variáveis de crescimento, a produção de matéria seca do caule, das folhas, da parte aérea, das raízes e total e a relação parte aérea: raízes foi influenciada pelo tipo de porta-enxerto, tipo de copa, presença do alumínio na solução nutritiva e pela interação entre os fatores (TABELA 12).

Os porta-enxertos praticamente não diferiram quanto ao acúmulo de matéria seca, enquanto que para os clones copa, o maior acúmulo de massa da matéria seca total foi obtido

pelas mudas de ‘Embrapa 51’. Sousa (2017) também observou que não houve diferença significativa para a produção de matéria seca de caule, para os oito porta-enxertos de cajueiro (‘CCP 06’, ‘CCP 09’, ‘CCP 76’, ‘CCP 1001’, ‘Embrapa 51’, ‘BRS 189’, ‘BRS 265’, ‘BRS 275’) avaliados quanto a tolerância ao alumínio em solução nutritiva.

No geral, a presença do alumínio provocou queda em todas as matérias secas das mudas (TABELA 12). Na presença do alumínio houve diminuição de 24,7%; 39,0%;13,4% na produção de matéria seca do caule, folhas e raízes, comparado com a produção das mudas desenvolvidas na ausência do alumínio.

Tabela 12 - Produção de matéria seca de mudas de cajueiro-anão em função do porta-enxerto, copa e alumínio <sup>(1)</sup>

Fatores	Matéria seca					Parte aérea:raízes	
	Caule	Folhas	Parte aérea	Raízes	Total		
----- g por planta -----							
Porta-enxerto	‘CCP 06’	10,08 a <sup>1</sup>	9,39 a	19,49 a	8,27 a	27,76 a	2,38 ab
	‘CCP 09’	10,14 a	9,35 a	19,49 a	8,39 a	27,88 a	2,34 b
	‘CCP 76’	10,74 a	10,04 a	20,78 a	8,23 a	29,01 a	2,56 a
Copa	‘CCP 76’	10,25 ab	9,20 b	19,45 ab	8,02 a	27,48 b	2,45 a
	‘BRS 226’	9,77 b	9,52 ab	19,29 b	8,09 a	27,38 b	2,42 a
	‘Embrapa 51’	10,95 a	10,07 a	21,01 a	8,78 a	29,79 a	2,40 a
Alumínio	Ausência	11,78 a	11,92 a	23,71 a	8,89 a	32,60 a	2,72 a
	Presença	8,87 b	7,27 b	16,13 b	7,70 b	23,83 b	2,14 b
----- Teste F <sup>2</sup> -----							
Porta-enxerto (P)		1,298 <sup>ns</sup>	2,500 <sup>ns</sup>	2,413 <sup>ns</sup>	0,125 <sup>ns</sup>	1,243 <sup>ns</sup>	3,570*
Copa (C)		3,441*	3,256*	3,922*	3,346*	4,840**	0,165 <sup>ns</sup>
Alumínio (A)		62,806**	274,530**	186,429**	20,327**	149,448**	61,072**
P x C		1,366 <sup>ns</sup>	3,596**	2,848*	1,127 <sup>ns</sup>	2,460 <sup>ns</sup>	1,112 <sup>ns</sup>
P x A		1,553 <sup>ns</sup>	4,999**	3,144*	2,407 <sup>ns</sup>	1,679 <sup>ns</sup>	5,473**
C x A		1,747 <sup>ns</sup>	5,995**	1,378 <sup>ns</sup>	0,580 <sup>ns</sup>	0,665 <sup>ns</sup>	2,162 <sup>ns</sup>
P x C x A		0,186 <sup>ns</sup>	1,099 <sup>ns</sup>	0,552 <sup>ns</sup>	1,805 <sup>ns</sup>	0,243 <sup>ns</sup>	2,945*
CV (%)		18,53	15,21	14,47	16,54	13,20	15,89

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra dentro de cada fator na coluna, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>2ns</sup>, \*\* e \*: Não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Lana *et al.* (2013), para pinhão-manso, observaram efeito negativo do alumínio no crescimento das raízes; porém, assim como para o cajueiro, sem efeito na produção de matéria seca de raízes. Conforme Furlani e Furlani (1991) as plantas tolerantes ao alumínio

apresentam mecanismos para desenvolver seu sistema radicular e, com isso, absorver os elementos essenciais ao desenvolvimento.

Para as variáveis de produção de matéria seca de folhas e de parte aérea de mudas de cajueiro-anão houve diferença em função do tipo de porta-enxerto e da copa utilizada (TABELA 13). O porta-enxerto ‘CCP 76’ com a copa ‘Embrapa 51’ foi o que obteve a maior produção de matéria seca de folhas com 11,30 g por planta, em relação a copa ‘CCP 76’ (auto-enxertia).

Tabela 13 - Matéria seca de folhas e de parte aérea de mudas de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e da copa

Porta-enxerto	Copa		
	‘CCP 76’	‘BRS 226’	‘Embrapa 51’
----- Matéria seca de folhas, g por planta -----			
‘CCP 06’	9,03 Aa <sup>1</sup>	9,17 Aa	9,99 ABa
‘CCP 09’	9,66 Aa	9,47 Aa	8,92 Ba
‘CCP 76’	8,90 Ab	9,92 Aab	11,30 Aa
----- Matéria seca de parte aérea, g por planta -----			
‘CCP 06’	19,21 Aa	18,84 Aa	20,41 Ba
‘CCP 09’	20,26 Aa	19,00 Aa	19,22 Ba
‘CCP 76’	18,90 Ab	20,03 Ab	23,42 Aa

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a produção de matéria seca da parte aérea, a combinação do porta-enxerto ‘CCP 76’ com a copa ‘Embrapa 51’, foi a que resultou em maior produção, quando comparado com as copas ‘CCP 76’ e ‘BRS 226’.

A interação em função do tipo de porta-enxerto e alumínio foi significativa para os parâmetros de matéria seca de folhas, de parte aérea (folhas e caule) e para a relação parte aérea:raízes de mudas de cajueiro-anão (TABELA 14).

Na presença do alumínio em solução verificou-se menor produção de matéria seca de folhas, independente dos genótipos que foram utilizados como porta-enxerto. Apesar de todos os genótipos sofrerem reduções, o maior efeito foi observado para o ‘CCP 06’, sendo de 44,2% e, de 30,8% e 41,3% para o ‘CCP 09’ e ‘CCP 76’, respectivamente.

Doses de alumínio de 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> em mudas de goiabeira proporcionam as maiores produções de matéria seca de folhas, caule e raízes, porém, com diminuição à medida em que as concentrações de alumínio foram aumentadas para 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> (SALVADOR *et al.*, 2000).

Para a produção de matéria seca da parte aérea (folhas e caule), também foi constatada menor produção na presença do alumínio em todos os genótipos utilizados como porta-enxerto. A redução média na produção de matéria seca da parte aérea foi de 33,0%, comparada a produção dos genótipos em solução na ausência do alumínio. Por outro lado, Kumar (1981) observou efeito positivo do alumínio na parte aérea de cajueiro até a dose de 12 mg L<sup>-1</sup>.

Tabela 14 - Matéria seca de folhas da parte aérea de mudas e relação parte aérea:raízes de cajueiro-anão em função do tipo de porta-enxerto e do alumínio <sup>(1)</sup>

Porta-enxerto	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- Matéria seca de folhas, g por planta -----	
‘CCP 06’	12,06 ABa	6,73 Ab
‘CCP 09’	11,05 Ba	7,65 Ab
‘CCP 76’	12,65 Aa	7,42 Ab
	----- Matéria seca de parte aérea, g por planta -----	
‘CCP 06’	24,07 ABa	14,90 Ab
‘CCP 09’	22,38 Ba	16,60 Ab
‘CCP 76’	24,67 Aa	16,89 Ab
	----- Relação parte aérea:raízes -----	
‘CCP 06’	2,72 ABa	2,03 Ab
‘CCP 09’	2,46 Ba	2,22 Aa
‘CCP 76’	2,97 Aa	2,16 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avaliando o desenvolvimento de três espécies florestais (*Acacia mangium*, *Mimosa artemisiana* e *Enterolobium contortisiliquum*) com doses de Al<sup>3+</sup> de 0, 185, 370 e 555 µmol L<sup>-1</sup>, Presotto *et al.* (2018) concluíram que a espécie *Mimosa artemisiana* apresentou-se mais sensível à presença do alumínio, com diminuição na produção de biomassa, devido ao aumento das doses.

A tolerância das plantas ao alumínio pode variar dentro da mesma espécie e entre espécies, como verificado também por outros autores. Menor produção de matéria seca da parte aérea com aumento das doses de alumínio foi verificada para espécies florestais (BEUTLER; FERNANDES; FAQUIN, 2001), para as plântulas de milho (*Zea mays*) (MAZZOCATO *et al.*, 2002), para porta-enxerto de videira (*Vitis* spp.) (TECCHIO *et al.*, 2006) e pinhão-manso (GORDIN *et al.*, 2013). Para cafeeiro, Braccini *et al.* (1998b)

observaram menor produção de matéria seca da parte aérea na concentração de 0,296 mmol L<sup>-1</sup> de Al em solução nutritiva. Eles atribuem essa redução ao maior acúmulo de P nas raízes, formando fosfato de alumínio, o que afeta o transporte do P para a parte aérea e a menor absorção de Ca. Para o presente experimento esse efeito não pode ser descartado, sendo necessários resultados das análises químicas da parte aérea e do sistema radicular para sua confirmação. Destaca-se, também, o fato de que fatores nutricionais geralmente influenciam o crescimento e a morfologia de órgãos de plantas de maneiras específicas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Por outro lado, Sousa (2017), avaliando a tolerância de 8 genótipos de cajueiro-anão como porta-enxerto ('CCP 06', 'CCP 09', 'CCP 76', 'CCP 1001', 'Embrapa 51', 'BRS 189', 'BRS 265', 'BRS 275'), não verificou diferença significativa na produção de matéria seca da parte aérea (caule e folhas) nos níveis de alumínio (0, 10, 20, 30 e 40 mg L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva.

Em solos, resultados semelhantes quanto a diminuição da parte aérea do cajueiro com o aumento das doses de alumínio (0; 0,3; 0,4; 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foram observados por Silva (1995). Parente (2000) observou que o clone 'Embrapa 51' apresentou maior índice de tolerância ao alumínio, quando comparado as mudas de 'CCP 06', 'CCP 76' e ao cajueiro-comum (*Anacardium microcarpum*), com base nos resultados de produção de matéria seca da parte aérea e das raízes.

Os porta-enxertos 'CCP 06' e 'CCP 76' apresentaram menor relação parte aérea:raízes na presença do alumínio. A parte aérea diminuiu a produção de matéria seca em 32%, enquanto para as raízes essa redução foi de 14%. Com isso, observa-se que a parte aérea das mudas de cajueiro-anão foi mais afetada na presença do alumínio do que o sistema radicular.

Silva (1995) verificou que a menor relação parte aérea:raízes na presença de alumínio em solo foi resultante da menor produção de matéria seca da parte aérea do que da produção de matéria seca de raízes de genótipos de cajueiro. Por outro lado, Veloso *et al.* (1995), em pimenteira do reino, não observaram alterações na relação parte aérea:raízes com a aplicação de alumínio, ou seja, o elemento afetou a parte aérea e as raízes das plantas de modo similar. Em mangueira (*Mangifera indica* L.), Naing *et al.* (2009) também não constataram diferenças na relação parte aérea:raízes com as doses de Al (0, 250 e 500 µM AlCl<sub>3</sub>). Entretanto, em mudas de pinhão-manso submetidos às doses alumínio (0, 20, 40, 60 e 80 mg L<sup>-1</sup>), Machado *et al.* (2015) constataram que os efeitos do alumínio foram mais marcantes no crescimento das raízes do que da parte aérea das plântulas.

O cajueiro em condições de estresses pode ter a sua parte aérea mais afetada do que o sistema radicular. As espécies de plantas apresentam respostas diferenciadas ao estresse do meio. Avaliando a germinação e o crescimento inicial de genótipos de cajueiro-anão em condições de salinidade, Carneiro *et al.* (2002) constataram que o crescimento da parte aérea foi mais prejudicado pela salinidade do que o sistema radicular.

Com base nos resultados obtidos de matéria seca de folhas, matéria seca da parte aérea e relação parte aérea:raízes, com a presença do alumínio em solução nutritiva, observa-se que o clone ‘CCP 09’ mostrou-se mais tolerante aos efeitos tóxicos causado pelo alumínio em relação aos demais porta-enxertos avaliados.

Para a interação entre copa e alumínio houve diferença para a matéria seca de folhas de mudas de cajueiro-anão (TABELA 15). A copa ‘BRS 226’ foi a que apresentou maior diminuição na produção de matéria seca de folhas com 47,1%, seguido das copas ‘Embrapa 51’ com 37,4% e ‘CCP 76’ com 31,7%.

Tabela 15 - Matéria seca de folhas de mudas de cajueiro-anão, em função do tipo de copa e do alumínio<sup>(1)</sup>

Copa	Alumínio	
	Ausência	Presença
	----- g por planta -----	
‘CCP 76’	10,93 Ba	7,46 Ab
‘BRS 226’	12,45 Aa	6,59 Ab
‘Embrapa 51’	12,38 Aa	7,75 Ab

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando os resultados da área foliar e da produção de matéria seca de folhas verificou-se que a utilização do ‘BRS 226’ como copa apresentou menor tolerância ao alumínio do que o ‘CCP 76’ e o ‘Embrapa 51’. Esses resultados não eram esperados uma vez que esse genótipo foi selecionado pelo programa de melhoramento genético do cajueiro para o plantio comercial em sequeiro e indicado para cultivo na região do semiárido do estado do Piauí, em solos de elevada acidez (PAIVA; BARROS, 2004).

## CONCLUSÕES

Mudas enxertadas de cajueiro-anão apresentam maior tolerância ao alumínio, em relação as mudas de pé-franco.

A utilização do genótipo de cajueiro ‘CCP 09’ como porta-enxerto e das copas ‘CCP 76’ e ‘Embrapa 51’ resultam em mudas enxertadas com maior tolerância ao alumínio.

## REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 373-378, 2003.
- BARROS, L. M. **Caju, produção: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, 2002. 148p.
- BASSO, L. H. M.; GONÇALVES, A. N.; SILVEIRA, L. V. A. de; LIMA, G. P. P. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas *in vitro*. **Scientia Forestalis**, v. 63, p. 167-177, 2003.
- BATISTA, M. F.; MOSCHETA, I. S.; BONATO, C. M.; BATISTA, M. A.; ALMEIDA, O. J. G. de; INOUE, T. T. Aluminum in corn plants: influence on growth and morpho-anatomy of root and leaf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 177-187, 2013.
- BERTSCH, P. M.; PARKER, D. R. Aqueous polynuclear aluminum species. *In*: SPOSITO, G. (Coord.). **The Environmental Chemistry of Aluminum**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 117-168.
- BEUTLER, A. N.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 923-928, 2001.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E.; ABREU, C. E. B.; PRISCO, J. T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. **Jornal of Plant Physiology**, v. 19, p. 449-461, 2007.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; SILVA, E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 435-442, 1998a.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; PEREIRA, A. A. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. II. Teores de P, Ca e Al e eficiência ao P e Ca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 443-450, 1998b.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; SILVA, E. A. M.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxilina como critérios de avaliação de genótipos de café quanto à tolerância à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 59-69, 2000.
- CARDOSO, J. E.; CAVALCANTI, J. J. V.; CYSNE, A. Q.; SOUZA, T. R. M.; CORRÊA, M. C. M. Interação enxerto e porta-enxerto na incidência da resinose do cajueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 847-854, 2010.

CARNEIRO, T. P.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 199-206, 2002.

CAVALCANTE, A. R. **Avaliação de combinação enxerto porta-enxerto de cajueiro anão precoce**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

CAVALCANTI JUNIOR, A. T.; CHAVES, J. C. M. **Produção de mudas de cajueiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 43 p., 2001. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 42).

CAVALCANTI JUNIOR, A. T. Propagação assexuada do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **Agronegócio Caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. parte 4, cap. 1, p. 241-257.

CAVALCANTE JÚNIOR, L. F. **Eficiências de absorção, transporte e utilização de nutrientes de mudas de cajueiro-anão-precoce**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; JÚNIOR, G. B. Fisiologia do cajueiro anão precoce submetido à estresse hídrico em fases fenológicas. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 42-53, 2008.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; MASSA, D.; SALERNO, A.; REA, E. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 81, p. 146-152, 2006.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S.; SERENO, M. J. C. M.; BARBOSA NETO, J. F. Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 14, p. 01-10, 2008.

CRISÓSTOMO, L. A. **Avaliação da fertilidade em dez unidades de solo cultivadas com cajueiro nos estados de Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte**. Fortaleza, 1991, 67 f. Tese (Professor Titular) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1991.

CRISÓSTOMO, L. A. Clima, solo, nutrição mineral e adubação para o cajueiro-anão-precoce. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 43-59.

CRISÓSTOMO, L. A.; SANTOS, F. J. S.; OLIVEIRA, V. H.; RAIJ, B. van; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A.; SOARES, I. **Cultivo do cajueiro anão precoce: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 20 p., 2001. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 08).

DANTAS, A. C. M.; FORTES, G. L. R.; SILVA, J. B.; NEZI, A. N.; RODRIGUES, A. C. Tolerância ao alumínio em porta-enxertos soma clonais de macieira cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 615-623, 2001.

ECHART, C. L.; MOLINA, S. Aluminum phytotoxicity: effects, tolerance mechanisms and its genetic control. **Ciência Rural**, v. 31, p. 531-541, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Trad. Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 86 p.

ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; TUCCI, M. L. S. Photosynthetic limitation by CO<sub>2</sub> diffusion in drought stressed orange leaves on three rootstocks. **Photosynthesis Research**, v. 96, p. 163-172, 2008.

FAO. **FAOStat**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 21 de fev. 2017.

FERNANDEZ-GARCIA, N.; CARVAJAL, M.; OLMOS, E. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. **Annals of Botany**, v. 93, p. 53-60, 2004.

FOY, C. D. Plant adaptation to acid, aluminum - toxic soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 959-987, 1988.

FRÁGUAS, J. C. **Sintomatologia da toxidez do alumínio em porta-enxertos de videira**. Bento Gonçalves: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, 20 p. 1996. (Embrapa- Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho. Circular Técnica, 20).

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIG, B. J.; CERRI, C. C.; PELLEGRINO, C. E. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 641-648, 2008.

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**, v. 36, p. 73-79, 2006.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 440-448, 2015.

FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C. Tolerância a alumínio e eficiência a fósforo em milho e arroz: características independentes. **Bragantia**, v. 50, p. 331-340, 1991.

GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; ROSA, R. J. M.; SANTOS, A. M.; SCALON, S. P. Q. Emergência de plântulas e crescimento inicial do pinhão manso exposto a alumínio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 147-156, 2013.

GUSTAFSSON, J. P. **Visual MINTEQ** version 3.1., 2012.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C. de; CARVALHO, F. I. F. de; BERTAN, I.; SILVA, A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S.

dos. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, p. 219-228, 2007.

HE, Y.; ZHU, Z.; YANG, J.; NI, X.; ZHU, B. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 270-278, 2009.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. **California Agricultural Experimental Station**, v. 347, p. 1-32, 1950.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 de Set. 2018.

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

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PIÑEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 459-493, 2004.

KOCHIAN L. V.; PIÑEROS, M. A.; HOEKENGA, O. A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminium resistance and toxicity. **Plant and Soil**, v. 274, p. 175-195, 2005.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, L. A. B. da; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, p. 339-347, 2005.

KUMAR, P. H. Effect of aluminium on the growth of cashew seedlings (*Anacardium occidentale* L.) in sand culture. **Indian Cashew Journal**, v. 14, p. 9-11, 1981.

LANA, M. C.; STEINER, F.; ZOZ, T.; FEY, R.; FRANDOLOSO, F. J. Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 582-589, 2013.

LEE, J. M. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, drafting methods, and benefits. **HortScience**, v. 29, p. 235-239, 1994.

LIAO, X. Y.; YANG, L. T.; LU, Y. B.; YE, X.; CHEN, L. S.; Roles of rootstocks and scions in aluminum-tolerance of Citrus. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p.1743, 2015.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **O alumínio em solos cultivados com cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no Piauí**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1999. (Comunicado Técnico).

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleoginosas Fibrosas**, v.11, p. 15-21, 2007.

LIMA, S. S.; KHAN, A. S.; LIMA, P. S.; LEITE, L. A. S.; MATTOS, A. L. A. Nível tecnológico e fatores de decisão para adoção de tecnologia na produção de caju no Ceará. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 8, p. 121-145, 2010.

LIN, Z.; MYHRE, D. L. Differential response of citrus rootstocks to aluminium levels in nutrient solutions: I. Plant growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, p. 1223-1238, 1991.

LIU, Z. L.; HU, C. M.; WEI, G. P.; YANG, L. F.; ZANG, G. W. Effects of NaCl stress on the growth, antioxidant enzyme activities and reactive oxygen metabolism of grafted eggplant. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v. 18, p. 537-541, 2007.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). 3 ed. p. 22, 1991, (Boletim Técnico, 1).

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

MACHADO, J. S.; STEINER, F.; ZOZ, F.; HONDA, G. B.; OLIVEIRA, B. L. N. Effects of aluminum on seed germination and initial growth of physic nut seedlings. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, p. 24-31, 2015.

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

MASSOT, N.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Differential response of three bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars to aluminium. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 41, p. 293-298, 1992.

MATTIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MERIELES, P. G.; SILVA, I. R. 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 Ciência do Solo**, v. 32, p. 425-434, 2008.

MAZZOCATO, A. C.; ROCHA, P. S. G.; SERENO, M. J. C. M.; BOHNEM, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J. F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, v. 32, p. 19-24, 2002.

MENDES, T. P.; OLIVEIRA, F. L.; TOMAZ, M. A. RODRIGUES, N. R.; TEIXEIRA, A. G. Aluminum toxicity effect on the initial growth of yacon plantlets. **Revista Ceres**, v. 65, p. 120-126, 2018.

MISTRO, J. C.; CAMARGO, C. E. O. de; PETTINELLI JUNIOR, A. Avaliação de genótipos de trigo, de diferentes origens, em relação à toxicidade de alumínio. **Bragantia**, v. 60, p. 177-184, 2001.

MONTEITH, J. L.; MOSS, C. J. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 281, p. 277-294, 1977.

NAING, K. W.; ANGELES, D. E.; PROTACIO, C. M.; CRUZ, P. C. S. Tolerance of mango (*Mangifera indica* L. Anacardiaceae) seedlings to different levels of aluminum. **Philippine Journal of Crop Science**, v. 34, p. 33-42, 2009.

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Revista Ciência Rural**, v. 37, p. 97-101, 2007.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, V. H. de. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 40 p. (Sistema de Produção, 1).

OLIVEIRA, V. H. de. Cajucultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 1-3, 2008.

PAIVA, J. R.; BARROS, L. M. **Clones de Cajueiro: Obtenção, Características e Perspectivas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 26 p., 2004. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 82).

PAIVA, J. R.; BARROS, L. M.; CAVALCANTI, J. J. V.; MARQUES, G. V.; NUNES, A. C. Seleção de porta-enxertos de cajueiro comum para a região Nordeste: fase de viveiro 1. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, p. 162-166, 2008.

PARENTE, C. O. **Tolerância de cajueiro ao alumínio no solo**. 2000. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

PEREIRA, J. M.; CAMBRAIA, J.; FONSECA JÚNIOR, E. M.; RIBEIRO, C. Efeito do alumínio sobre a absorção, o acúmulo e o fracionamento do fósforo em sorgo. **Bragantia**, v. 67, p. 961-967, 2008.

PEREIRA, W. E. **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila, crescimento e composição mineral de quatro porta-enxertos de citros submetidos a estresse por alumínio, em cultivo hidropônico**. 2001. 123 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PEREIRA, W. E.; SIQUEIRA, D. L.; PUIATTI, M.; MARTÍNEZ, C. A.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. Growth of citrus rootstocks under aluminium stress in hydroponics. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 31-41, 2003.

PRESOTTO, R. A.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MATTIELLO, E. M. Influência do Al<sup>3+</sup> em solução nutritiva no crescimento de três espécies florestais utilizadas na recuperação de áreas degradadas. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 384-392, 2018.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. p.181-188.

RAIJ, B. van. **Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície**. Informações Agronômicas, v. 135, p. 8-18, 2011.

RAMOS, A. D.; FROTA, P. C. E.; LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S. **Solos cultivados com cajueiro: características e limitações**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1997. 48 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 21).

RAMPIM, L.; LANA, M. D. C. Mecanismo de tolerância interna das plantas ao alumínio. **Colloquium Agrariae**, v. 9, p. 72-89, 2013.

ROSSIELLO, R. O. P.; JACOB NETTO, J. Toxidez de alumínio em plantas: Novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 2006. p. 432.

ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; COLLA, G. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 49-58, 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**, v. 24, p. 787-796, 2000.

SAMAC, D. A.; TESFAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils - a review. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 75, p. 189-207, 2003.

SANTOS, C. H.; GRASSI FILHO, H.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, Z. P. Níveis de alumínio e o desenvolvimento de porta-enxertos cítricos em cultivo hidropônico: I. Parâmetros biométricos. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 921-932, 1999.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SERRANO, L. A. L.; CAVALCANTI JUNIOR, A.T. Produção de mudas de cajueiro. In: SERRANO, L. A. L. (Ed.). **Sistema de Produção do Caju**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2ª ed., 2016.

SERRANO, L. A. L.; OLIVEIRA, V. H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. parte 2, cap. 3, p. 77-165.

SERRANO, L. A. L.; MELO, D. S.; TANIGUCHI, C. A. K.; VIDAL NETO, F. C.; CAVALCANTE JÚNIOR, L. F. Porta-enxertos para a produção de mudas de cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1237-1245, 2013.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. P. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. In: SERRANO, L. A. L. (Ed.). **Sistema de Produção do Caju**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2ª ed., 2016.

SERRANO, L. A. L.; VIDAL NETO, F. C.; MELO, D. S.; CAVALCANTI, J. J. V.; ROSSETT, A. G. **Porta-enxertos para os cajueiros- anões ‘CCP 76’ e ‘BRS 226’ no Semiárido do Piauí**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 22 p., 2015. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 107).

SILVA, M. R. M. **Comportamento de mudas de cajueiro cultivadas em diferentes níveis de alumínio no solo**. 1995. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

SIMON, L.; SMALLEY, T. J.; JONES, J. B.; LASSEIGNE, F. T. Aluminum toxicity in tomato. Part 1. Growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, p. 293-306, 1994.

SOUSA, L. F. R. A. **Calagem no desenvolvimento do cajueiro e genótipos tolerantes ao alumínio**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

TECCHIO, M. A.; TERRA, M. M.; FILHO, M. M.; CORRÊA, J. C.; VIEIRA, C. R. Y. I. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. **Revista Ceres**, v. 53, p. 243-250, 2006.

TOMAZ, M. A.; SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CRUZ, D.; PEREIRA, A. A.; FREITAS, R. S. Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* L. **Ciência Rural**, v. 35, p. 570-575, 2005.

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

VILLA, F.; ALVARENGA, A. A.; PASQUAL, M.; CANÇADO, G. M. A.; ASSIS, F. A.; ASSIS, G. A. Seleção fenotípica de porta-enxertos de videira para tolerância ao alumínio, cultivados em solução nutritiva. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 24, p. 25-32, 2009.

WEBSTER, A. D. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity and yield productivity. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 23, p. 373-382, 1995.

YETISIR, E.; SARI, N. R. Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 43, p. 1269-1274, 2003.

ZHANG, X.; LIU, P.; YANG, Y. S.; GEN-DI, X. Effect of Al in soil on photosynthesis and related morphological and physiological characteristics of two soybean genotypes. **Botanical Studies**, v. 48, p. 435-444, 2007.