



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**CAMILA NOGUEIRA PESTANA CALDAS**

**GENÓTIPOS DE MAMONEIRA CULTIVADOS EM SOLUÇÃO  
NUTRITIVA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
ALUMÍNIO**

**Cruz das Almas,  
Novembro de 2012.**

**CAMILA NOGUEIRA PESTANA CALDAS**

**GENÓTIPOS DE MAMONEIRA CULTIVADOS EM SOLUÇÃO  
NUTRITIVA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
ALUMÍNIO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Biologia, outorgado pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Edna Lôbo Machado

**Cruz das Almas,  
Novembro de 2012.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C145

Caldas, Camila Nogueira Pestana.

Genótipos de mamoneira cultivados em solução nutritiva sob diferentes concentrações de alumínio / Camila Nogueira Pestana Caldas.\_ Cruz das Almas, BA, 2012.

62f.; il.

Orientadora: Edna Lôbo Machado.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.

## CAMILA NOGUEIRA PESTANA CALDAS

### GENÓTIPOS DE MAMONEIRA CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.

Trabalho de conclusão de curso (TCC), apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Biologia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Aprovada em 23 de Novembro de 2012.

#### Banca Examinadora

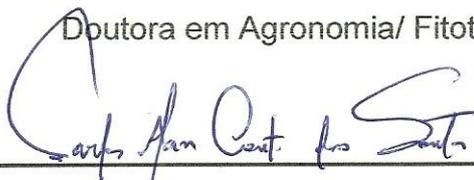


Dr<sup>a</sup> Edna Lôbo Machado- Orientadora  
Professora Assistente do CCAAB



Elaine Costa Cerqueira Pereira

Doutora em Agronomia/ Fitotecnia- USP



Carlos Alan Couto dos Santos

Mestre em Ciências Agrárias- UFRB

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me conceder a vida, me ensinando a lutar sempre para que possa alcançar meus objetivos. Dando-me força, coragem, determinação e perseverança na busca por meus ideais.

Aos meus pais, Antonio e Marinalva, pela luta ao longo de sua vida em prol da minha formação moral e intelectual e de todas minhas irmãs.

Ao meu esposo, Fábio, pelo seu amor, companheirismo, paciência e incentivo em todos os momentos.

Às minhas irmãs, Rosa Karla, Kátia, Renata e Rafaela pelo carinho e apoio.

À orientadora Dra. Edna Lôbo Machado, obrigada pela oportunidade, pelos ensinamentos, pela confiança, paciência e principalmente pela amizade concedida.

À amiga Keylla, pela amizade e pela parceria nos momentos de sufoco e alegria.

Ao grupo NBIO, em especial: Professora Simone, Luciel, Helison, Lívia, Dyane, Selma, Vanessa e Elaine, pelos momentos de descontração e aprendizagem durante os anos de convivência.

Aos professores, em especial Rogério e Fabiano, pelos ensinamentos dedicados.

Muito obrigada a todos que aqui não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

**“O SENHOR É MEU PASTOR,  
POR ISSO NADA EM MINHA  
VIDA FALTARÁ”  
Salmo 23:1**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 Geral.....	16
2.2 Específicos.....	17
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
3.1 A espécie <i>Ricinus communis</i> L.....	17
3.2 Importância econômica da mamoneira.....	18
3.3 O alumínio no solo e seus efeitos nas plantas.....	19
3.4 Mecanismos de tolerância ao alumínio.....	21
3.5 Efeitos do Alumínio na atividade fisiológica da planta.....	22
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	24
<b>CAPITULO I: Avaliação do crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01, de mamoneira, sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia</b> .....	29
<b>RESUMO</b> .....	30
<b>ABSTRACT</b> .....	31
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	32
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
2.1 Preparo de soluções.....	33
2.2 Germinação das sementes.....	34
2.3 Hidroponia.....	35
2.4 Avaliação da tolerância ao alumínio.....	37
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43
<b>CAPITULO II: Efeito tóxico do alumínio sobre o crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33, de mamoneira, em nível de substrato</b> .....	45
<b>RESUMO</b> .....	46
<b>ABSTRACT</b> .....	47
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	48

<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	50
2.1 Preparo de soluções .....	50
2.2 Avaliação do crescimento.....	52
2.2 Análises Fisiológicas.....	53
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	54
3.1 Avaliação do crescimento.....	54
3.2 Análises Fisiológicas.....	58
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	62

## LISTA DE TABELAS

### **CAPITULO I: Avaliação do crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01, de mamoneira, sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia**

**Tabela 1.** Macronutrientes utilizados no preparo das soluções para o cultivo hidropônico de *Ricinus communis*.....34

**Tabela 2.** Micronutrientes utilizados no preparo das soluções para o cultivo hidropônico de *Ricinus communis*. .....34

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Comprimento da Raiz principal (CRP), Retomada de Crescimento da Raiz Principal (RCRP), Diâmetro da Raiz Principal, Crescimento da Raiz Secundária (CRS) e Diâmetro da Raiz Principal após o tratamento com alumínio (DRP AL), submetidas a cinco doses de alumínio. UFRB, 2011. ....38

**Tabela 4.** Comparação entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 para as variáveis: CRP (Crescimento da Raiz Principal), DRP (Diâmetro da Raiz Principal) e CRS (Crescimento da Raiz Secundária). ....39

### **CAPITULO II: Efeito tóxico do alumínio sobre o crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33, de mamoneira, em nível de substrato**

**Tabela 1.** Macronutrientes utilizados no preparo de soluções usadas no cultivo hidropônico de *Ricinus communis*.....50

**Tabela 2.** Micronutrientes utilizados para produção de soluções usada em cultivo hidropônico em *Ricinus communis*.....51

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Massa Seca da Raiz (MSR), Números de Folha (NF), Comprimento da Parte Aérea (CPA), Massa Seca da Folha (MSF), Diâmetro do Caule (DC), Massa Seca do Caule (MSC), Área Foliar (AF), em cinco concentrações de alumínio. UFRB, 2011.....54

**Tabela 4.** Comparação de médias entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33 para as variáveis NF(Números de Folhas), MSF ( Massa Seca da Folha), MSC (Massa Seca do Caule) e AF(Área Foliar).....55

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Fotossíntese líquida (A), Condutância Estomática (GS), Transpiração (E), Razão entre a Concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo e na Atmosfera (CICA). UFRB, 2011.....58

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPITULO I: Avaliação do crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01, de mamoneira, sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia**

- Figura 1.** Pré-germinação das sementes dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 **A-** Germinação das sementes em papel filtro umedecido com água destilada e **B-** Germinação visível com 2 a 5mm de radícula.....35
- Figura 2.** Sementes pré-germinadas em solução nutritiva de dois genótipos de mamoneiras: **A-** Disposição das sementes com 2 a 5mm de radícula em fileira **B-** Telas acopladas ao recipiente contendo solução nutritiva e a um sistema de aeração. ....36
- Figura 3.** Cultivo hidropônico de *Ricinus communis*: experimento de tolerância ao alumínio. **A:** Sistema de iluminação permanente, **B:** Termostato mantendo a temperatura da água em 25°, **C:** Sistema de aeração com tubos ligados aos vasos com as amostras e **D:** Termômetro.....36
- Figura 4.** Equações de regressão para as variáveis: A- Crescimento da Raiz Principal (CRP), B- Retomada de Crescimento da Raiz Principal (RCRP) e C- Crescimento da Raiz Secundária (CRS), respectivamente, avaliados em dois genótipos de mamoneira sob distintas doses de Al (0, 50, 70, 90 e 120 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>) .....40

### **CAPITULO II: Efeito tóxico do alumínio sobre o crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33, de mamoneira, em nível de substrato**

- Figura 1.** Delineamento experimental utilizado, sendo que os genótipos estão dispostos em: **1** BRS 129 Nordestina e em **2** EBDA MPA 33. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, utilizando 5 doses de Al(0, 15,30, 45, 60 ppm Al).....52
- Figura 2.** Sistema de medição de trocas gasosas, portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd. England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho. ....53
- Figura 3.** Equações de regressão para as variáveis: A- Massa Seca da Raíz (MSR)), B-Números de Folha (NF) e C- Massa Seca do Caule ( MSC), D- Massa Seca da Folha (MSF), E- Diâmetro do caule ( DC) e F- Área Foliar (AF) respectivamente,

avaliados em dois genótipos de mamoneira, aos 47 após a semeadura, em função de distintas doses de Al (0, 15, 30, 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>).....56

**Figura 4.** Equações de regressão para as variáveis: A-Fotossíntese Líquida (A), B-Conductância Estomática (GS), C –Transpiração (E), D- Razão entre a concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo e na atmosfera (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>), respectivamente, avaliados em dois genótipos de mamoneira, aos 47 dias após a semeadura, em função de distintas doses de Al (0, 15, 30, 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>).....59

## **GENÓTIPOS DE MAMONEIRA CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de genótipos de mamoneira cultivados em solução nutritiva sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia e substrato. Para tanto, foram realizados dois experimentos: o primeiro em cultivo hidropônico, a fim de avaliar os efeitos do alumínio no recrescimento da raiz dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 de mamoneira. O segundo avaliou-se o efeito tóxico do alumínio sobre o crescimento e fisiologia dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33 de mamoneira, em solução nutritiva em nível de substrato. A partir das análises dos resultados, concluiu-se que a presença do alumínio tóxico interferiu no crescimento e no comportamento fisiológico dos genótipos de mamoneira, as quais apresentaram anormalidades típicas de injúria provocada por este metal.

**Palavras- chave:** Oleaginosa, toxicidade, solos ácidos, cultivo hidropônico.

## **GENOTYPES CASTOR CULTIVATED IN NUTRIENT SOLUTION UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM**

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the response of castor bean genotypes grown in nutrient solution under different concentrations of aluminum through hydroponics and substrate. Therefore, two experiments were conducted: the first in hydroponics, in order to assess the effects of aluminum on root regrowth of BRS 129 Northeastern and EBDA MPB 01 castor bean. The second evaluated the toxic effect of aluminum on the growth and physiology of BRS 129 Northeastern and EBDA MPA 33 of castor in nutrient solution at substrate level. From the analysis results, it was concluded that the presence of aluminum toxicity interfered with the growth and physiological behavior of castor bean genotypes, which showed typical abnormalities of injury caused by this metal.

**Keywords:** oleaginous, toxicity, acid soils, hydroponics.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma euforbiácea rústica, heliófila, disseminada por diversas regiões do mundo e caracteriza-se por ser uma espécie sensível à acidez do solo e exigente em nutrientes. O interesse pelo cultivo desta oleaginosa se deve às diversas possibilidades de uso do óleo extraído das sementes e à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (SILVA et al., 2004).

A mamoneira é uma espécie polimórfica. Ela apresenta grande variação no hábito de crescimento, cor da folhagem e do caule, porte, tamanho das sementes coloração e teor do óleo (MAZZANI, 1983). O desenvolvimento da mamoneira é influenciado, principalmente, pelas condições locais e variedade utilizada.

A composição da semente varia de acordo com a cultivar e a região de cultivo, com teor de óleo variando entre 35 a 55% (COSTA et al., 2004). No entanto, a maior parte das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possuem teor de óleo variando entre 45 a 50%.

O crescente interesse pela ricinocultura se dá pelo fato dessa cultura ser geradora de Biodiesel, combustível não fóssil e menos poluente (AZEVEDO e LIMA, 2001). Também, a mamoneira tem ampla aplicabilidade tais como: produção de plásticos, de tintas, vernizes, óleo, solventes, nylon, lubrificantes, fluidos hidráulicos, graxas especiais, espumas, cosméticos, ceras, emulsificantes, próteses, dentre outros (FREIRE et al., 2006).

A rusticidade e a adaptabilidade à diferentes regiões do Brasil fez a mamoneira assumir um papel socioeconômico importante em algumas regiões do país (SILVA et al., 2004).

Apesar da fácil adaptabilidade da mamoneira, solos ácidos podem reduzir significativamente o crescimento e produtividade de cultivares não tolerantes.

Os solos ácidos atingem cerca de 50% das terras potencialmente agricultáveis no mundo, representando um bilhão de hectares de solos tropicais e temperados e 68% do território brasileiro (PORTALUPPI, 2008). Estes solos, geralmente, apresentam elevada concentração de alumínio que promovem inibição do crescimento de plantas, especialmente devido a deficiência de fósforo e ao estresse causado pelo alumínio (TABALDI, 2008). Contudo, o baixo pH do solo

aliado a presença de alumínio constitui um cenário crítico para o cultivo de diversas culturas de interesse agrônômico.

A alta disponibilidade de prótons ( $H^+$ ) converte o alumínio da forma bivalente ( $Al^{2+}$ ) para a forma trivalente ( $Al^{3+}$ ). O íon trivalente de alumínio é tóxico as plantas, por competir por nutrientes essenciais ao desenvolvimento celular, como cálcio e fósforo, induzindo o depósito de calose, que impedem o fluxo celular e, principalmente, por gerar espécies reativas de oxigênio, como peróxido e superóxido, que oxidam biomoléculas como lipoproteínas da membrana plasmática (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001).

A toxidez provocada pelo  $Al^{3+}$  e seus significativos prejuízos no desenvolvimento da planta tem sido um problema estudado desde as primeiras décadas do século passado, devido a toxidez iônica (CASTILHOS, 2010). Os efeitos da toxidez do Al nas plantas podem ser notados através da drástica redução do desenvolvimento das raízes, decorrente da inibição do processo de divisão celular; engrossamento e pouca ramificação das raízes. Também, há uma desorganização dos meristemas; escurecimento das raízes por necrose dos tecidos; acumulação de Al no protoplasma e núcleo das células do córtex das raízes; além de inibir a absorção e translocação dos elementos fósforo e cálcio para a parte aérea (ANGHINONI e MEURER, 2004) prejudicando assim, a absorção de nutrientes e água pela planta (RIBEIRO, 2010).

Nos últimos anos, houve um significativo progresso no entendimento das bases dos mecanismos de tolerância ao Al e no desenvolvimento de cultivares mais adaptadas as condições de solos ácidos. Os mecanismos de tolerância ao Al conhecidos se resumem basicamente em duas classes: os que agem no sentido de expulsar o Al depois de absorvido ou de impedir sua entrada pela raiz e os mecanismos de desintoxicação, complexando o Al em organelas específicas da planta, principalmente nos vacúolos (HARTWIG et al., 2007).

Em diversas espécies, mecanismos fisiológicos têm sido reportados como responsáveis pela ativação de ácidos orgânicos (principalmente citrato e malato) que atuam como agentes quelantes do Al, porém, muitos processos ainda não são bem entendidos e esclarecidos. Segundo Hartwig et al. (2007) há um mecanismo de tolerância ao Al que envolve a desintoxicação interna do Al através da complexação por ácidos orgânicos e o seqüestro destes complexos pelos vacúolos.

Estudos sobre o efeito do alumínio em mamoneira ainda são escassos: Lima et al. (2007) submeteram genótipos de mamoneira ao estresse com alumínio e observaram que o aumento do teor do alumínio no solo ocasiona redução no crescimento da planta. Também, em cultivo hidropônico, o comprimento da raiz principal, bem como o recrescimento dessa raiz foi drasticamente reduzido em função do aumento das concentrações de  $Al^{+3}$  (PASSOS, 2009).

O cultivo da mamona representa uma considerável importância para a economia do Brasil e do mundo, pelas diversas possibilidades de uso do óleo extraído das sementes e à sua capacidade de adaptação a diferentes ambientes. Entretanto, o seu cultivo na maioria dos solos ácidos, condiciona a paralisação do crescimento das raízes, dificultando a absorção dos nutrientes essenciais e água para o adequado desenvolvimento da planta. Sendo assim, faz-se necessária a avaliação do crescimento da mamoneira submetida ao estresse com Al a fim de viabilizar a identificação de genótipos tolerantes a este metal. Uma vez identificados os genótipos tolerantes, eles poderão ser recomendados para o plantio em solos ácidos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Avaliar a resposta de genótipos de mamoneira cultivados em solução nutritiva sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia e substrato.

### **2.2 Específicos**

-Estudar o efeito de diferentes concentrações do alumínio no crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 de *Ricinus communis* por meio da técnica hidropônica;

- Analisar o efeito tóxico do alumínio sobre o crescimento e fisiologia dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33 de mamoneira, em nível de substrato.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A espécie *Ricinus communis*

A mamoneira (*Ricinus communis*) é uma euforbiácea rústica, heliófila, resistente à seca, disseminada por diversas regiões do mundo. Essa cultura tem seu centro de origem localizado na África (JOLY, 2002), particularmente na Etiópia (MAZZANI, 1983). No Brasil, sua introdução ocorreu durante a colonização portuguesa, por ocasião da vinda dos escravos africanos (MAZZANI, 1983).

Segundo Savy Filho (1999), a mamoneira é considerada uma espécie do tipo autógama, porém é comum a ocorrência frequente de alogamia, caracterizando-se principalmente por apresentar taxas de cruzamentos superiores a 40%.

A espécie apresenta uma complexidade em sua biologia floral, morfologia e fisiologia (BELTRÃO e SILVA, 1999), sendo que, seu porte varia de 0,8 a 5 m de altura e ramificação do caule do tipo simpodial. As sementes apresentam germinação do tipo epígea, sendo observada de 8 a 18 dias após a semeadura (BELTRÃO et al., 2001). As raízes são fistulosas podendo ser do tipo axial e secundária e atinge uma profundidade de aproximadamente 2,0 m. O seu caule é arredondado, de textura lisa, com cor esverdeada e recoberto com cera; suas flores são monóicas, reunindo nas inflorescências flores femininas na parte superior e masculinas na parte inferior (SAVY FILHO, 1999; AZEVEDO e LIMA, 2001). Os frutos da mamoneira são do tipo cápsula tricoca com descência explosiva, possui folhas grandes de coloração verde e verde-escuro. Além disso, a mamoneira apresenta uma fisiologia complexa, possuindo metabolismo fotossintético do tipo C3 e taxa respiratória elevada (WEISS, 2000; BELTRÃO e SILVA, 1999), apresentando baixa eficiência no uso da água e no nitrogênio (AMORIM-NETO et al., 2001). Apesar de apresentar este mecanismo de fixação carbônica, a espécie é de fácil adaptação às diferentes condições de clima e solo, tolerante à seca e exigente em calor e luminosidade (AMORIM-NETO et al., 2001).

### 3.2 Importância econômica da mamoneira

A mamoneira é uma planta oleaginosa. O interesse pelo seu cultivo se deve às diversas possibilidades de uso do óleo extraído das sementes e à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (SILVA et al., 2004).

A maior parte da energia consumida no mundo é proveniente de fontes não renováveis, acarretando em um grande impacto ambiental. Sendo assim, devido ao fato destas fontes de energia estarem em vias de esgotamento, faz necessária a busca por alternativas de produção de biodiesel a partir do óleo vegetal (AZEVEDO et al., 1997), onde este pode ser obtido a partir da mamona bem como da soja, girassol, canola, milho, algodão, dendê, babaçu, pequi (CARNEIRO, 2003 apud VARGAS, 2006). No entanto, deve-se destacar a mamona por ser uma cultura de fácil cultivo, baixo custo de produção, boa adaptabilidade e com diversas utilizações industriais, tornando uma cultura de importante potencial econômico e estratégico ao País. O cultivo da mamona se expandiu bastante assim como em outros países industrializados, pois não existem bons substitutos para os fins de aplicação do óleo da mamona (AZEVEDO et al., 1997). Entretanto, têm-se observado produtividades bem inferiores quando cultivados em solos com ausência de calagem, observando, desse modo, sensibilidade a solos ácidos (SOUZA; NEPTUNE, 1976 apud PASSOS, et al., 2008).

No Brasil, o crescente interesse pela ricinocultura se dá pelo fato dessa cultura ser geradora de Biodiesel, combustível não fóssil e menos poluente (AZEVEDO e LIMA, 2001). O óleo da mamoneira tem ampla aplicabilidade tais como: a produção de remédios, cosméticos, na construção civil, na indústria automobilística, no revestimento de poltronas e parede de avião, na fabricação de plásticos biodegradáveis, na fabricação de tintas, vernizes, lubrificantes, vidros a prova de balas entre outras (SOUZA, 2007).

Atualmente, o Brasil ocupa a terceira posição na produção mundial de mamona com participação de 11,4 %. A região Nordeste é o maior produtor da mamona no país, com cerca de 85% do total produzido (BAHIA et al., 2008), pois, possui potencial para cultivar até seis milhões de hectares por ano de mamona, suficientes para a produção de 4,4 bilhões de litros de biodiesel e com uma produção de, aproximadamente, 3,0 milhões de toneladas de torta, que podem beneficiar 1,5 milhão de hectares (média de 2,0 toneladas por hectare) como

fertilizante do solo (OLIVEIRA, 2003 apud VARGAS, 2006). A Bahia é o estado que se destaca por apresentar maior área produzida, ressaltando a microrregião de Irecê. O estado da Bahia correspondeu por 84% da área plantada com mamona na safra 2007/2008, com 141 mil hectares, 15% mais que na safra anterior, com expectativa de colheita de 90 mil toneladas, contra 76 mil toneladas da safra anterior, um incremento de 18% (BAHIA et al., 2008). Portanto, a cultura da mamona apresenta uma grande oportunidade de rentabilidade, devido principalmente, a seu elevado grau de adaptação as condições climáticas da região (SAVY FILHO et al., 1999).

### **3.3 O alumínio no solo e seus efeitos nas plantas**

O alumínio corresponde cerca de 8% da crosta terrestre, sendo o terceiro elemento mais abundante da litosfera, após o oxigênio e o silício (FERNANDES, 2006). O alumínio apresenta-se das mais variadas formas no solo o que determina o pH do mesmo (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001). Um solo ácido libera formas fitotóxicas do Al na solução do solo. Isto afeta o desenvolvimento radicular e, por conseguinte, das plantas (FRÁGUAS, 1999).

A acidez é um processo natural, característico de solos onde a ação do intemperismo é mais intensa, sendo comum em todas as regiões onde a precipitação é suficientemente elevada para lixiviar quantidades apreciáveis de bases trocáveis do solo (PEREIRA et al., 1998). Desse modo, baixos pHs favorecem a liberação de minerais de baixa solubilidade contendo níveis tóxicos de alumínio que são lançados para a solução do solo.

Solos ácidos são comuns em áreas agricultáveis em todo o mundo. O baixo pH do solo constitui um cenário crítico para o cultivo de diversas culturas de interesse agrônomico. A alta disponibilidade de prótons ( $H^+$ ) converte o alumínio da forma bivalente ( $Al^{2+}$ ) para a forma trivalente ( $Al^{3+}$ ). O íon trivalente de alumínio é tóxico as plantas, por competir por nutrientes essenciais ao desenvolvimento celular, como cálcio e fósforo, induzindo o depósito de calose, que impedem o fluxo celular e, principalmente, por gerar espécies reativas de oxigênio, como peróxido e superóxido, que oxidam biomoléculas como lipoproteínas da membrana plasmática (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001).

Ao ser absorvido pelas plantas na forma livre ou como íon  $\text{Al}^{3+}$ , o alumínio causa como efeito primário a inibição da elongação da raiz, que ocorre cerca de 1 a 2 horas após a exposição ao alumínio (KOCHIAN, 1995), tornando-as menores ou atrofiadas em função da morte do meristema radicular (SIVAGURU et al., 2000 apud CANÇADO et al., 2001), engrossam e perdem suas ramificações finas, reduzindo assim sua capacidade de absorção de água e nutrientes, inibindo com isto a expansão, a elongação e a divisão celular (KOCHIAN et al., 2004). Estes distúrbios prejudicam o desenvolvimento da parte aérea da planta, que pode apresentar sintomas de deficiência de fósforo, devido à falha na sua translocação (ANGHINONI e MEURER, 2004) e causar graves anomalias ao sistema radicular, com modificações nos padrões de absorção e no metabolismo de nutrientes (SALVADOR et al., 2000), em função da morte do meristema radicular. Além disso, as raízes intoxicadas por alumínio tornam-se incapazes de explorar as camadas mais profundas do solo, restringindo a absorção de nutrientes, reduzindo a tolerância à seca, resultando em baixas produtividades e afetando a produção de grãos por área de cultivo (GUIMARÃES, 2005).

Durante a evolução das plantas, muitas desenvolveram mecanismos complexos de resistência à toxidez de Al até hoje não bem explicados. O grau de tolerância de uma planta ao Al varia conforme a espécie (RIBEIRO, 2010).

É sabido que as plantas podem ser tolerantes por serem capazes de sobreviver a altos níveis de Al no simplasto ou por se desintoxicarem do mesmo após sua entrada na célula (RIBEIRO, 2010). O estresse oxidativo é um importante componente da reação das plantas a níveis tóxicos de Al (RICHARDS et al., 1998), causando a ativação de enzimas antioxidantes (SCHUCH et al., 2008).

Também, a tolerância de várias espécies vegetais ao alumínio tem sido atribuída à capacidade das plantas manterem em suas raízes ou na parte aérea níveis adequados de certos nutrientes essenciais (MENDONÇA et al., 2003). Frequentemente, plantas afetadas pelo Al apresentam sintomas de deficiência de nutrientes, tais como P, Ca, Mg, K e Mo, devido à interferência do Al nos processos de absorção, transporte e uso destes nutrientes. Tais deficiências aparentemente ocorrem porque o Al induz a deposição de calose nos canais plasmodesmáticos, inibindo fisicamente o transporte simplástico entre células (SIVAGURU et al., 2000 apud CANÇADO et al., 2001 ).

### 3.4 Mecanismos de tolerância ao alumínio

As espécies de plantas respondem de forma diferente ao estresse causado pelo alumínio. No entanto, as plantas apresentam mecanismos para contornarem os efeitos tóxicos deste elemento (NAVA, 2005). Há duas propostas de mecanismos de tolerância ao Al: mecanismos de exclusão e mecanismos de tolerância interna (ANJOS, 2007).

As plantas que utilizam os mecanismos externos de exclusão impedem a entrada do Al na célula, desta forma, protegendo os sítios intracelulares sensíveis ao ataque do íon (BADALCIN, 2010). O alumínio é excluído dos tecidos da planta, em especial, da porção simplástica e do meristema da raiz. Este mecanismo de tolerância ao Al está relacionado com a habilidade de excluir o Al do ápice da raiz, e pode envolver diferentes tipos de mecanismos como imobilização do Al nas paredes celulares, permeabilidade seletiva do Al na membrana plasmática, formação de uma barreira de pH induzida pela planta na rizosfera ou no apoplasto da raiz, eliminação de ligantes quelados (TAYLOR, 1988). A exclusão do Al da extremidade das raízes pode ser obtida pela eliminação de ácidos orgânicos da ponta da raiz. Está bem estabelecida a habilidade dos ácidos orgânicos de quelarem e eliminar Al não-fitotóxico, e tem sido especulado que plantas tolerantes ao Al usam ácidos orgânicos para se desintoxicarem do  $Al^{3+}$  tanto internamente como na rizosfera (MIYASAKA et al., 1991).

Entre os tipos de ácido orgânico exsudado na presença do Al, o citrato é o mais comum e é também o mais efetivo entre os ácidos orgânicos por ser um ânion tricarboxilado, ele consegue formar quelatos com o  $Al^{3+}$  muito mais estáveis, se comparados com os quelatos formados pelo malato (ânion dicarboxilado). Desta forma, fica evidente a importância do citrato, como ácido orgânico envolvido na tolerância ao Al tóxico. Porém, o que não está elucidado ainda é como diferentes espécies regulam esta especificidade do ácido orgânico exsudado na presença do Al, entre outras questões relacionadas ao metabolismo dos diferentes ácidos orgânicos e suas especificidades quanto à espécie (HARTWIG et al., 2007).

Os mecanismos de tolerância interna ocorrem devido, a altas concentrações de Al no simplasto da raiz e pode estar relacionada a diferentes mecanismos como quelação do Al no citosol, compartimentação do Al nos vacúolos, ligações alumínio-proteínas, evolução de enzimas tolerantes ao Al (TAYLOR, 1988). Estes

mecanismos são baseados na detoxificação do alumínio no apoplasto e na rizosfera, através das formações de agentes quelantes de alumínio secretados pelos ápices das raízes e pela alcalinização do apoplasto apical e da rizosfera, a qual transfere as concentrações de espécies mononucleares de alumínio em favor de hidróxidos de alumínio menos tóxicos. A alcalinização ocorre pela elevação do pH da rizosfera para as raízes, a síntese de mucilagens no ápice radicular e a síntese e a exudação de polipeptídeos. O efluxo de ácidos orgânicos (principalmente citrato e malato) e ânions das raízes ativado pelo alumínio é um mecanismo bem estabelecido (PORTALUPPI, 2008).

De acordo com Anjos (2007), a tolerância ao alumínio, portanto, varia de espécie para espécie e os mecanismos de tolerância a este íon são variáveis e não são perfeitamente conhecidos.

### **3.5 Efeitos do Alumínio na atividade fisiológica da planta**

Os efeitos tóxicos do Al sobre o crescimento da parte aérea podem ocorrer como consequência secundária. Portanto, a diminuição do crescimento da planta pode ser resultado da redução da atividade fotossintética, que por sua vez pode estar relacionada com fatores estomáticos e não estomáticos (KONRAD et al., 2005).

Em algumas espécies, como por exemplo, o trigo, milho e o sorgo, observou-se que a toxidez do Al causa na fisiologia da planta queda na condutância estomática e nas reações bioquímicas de fixação de CO<sub>2</sub> (PEREIRA et al., 2000; AKAYA e TAKENAKA, 2001; PEIXOTO et al., 2002). A toxidez do Al também, pode reduzir a eficiência fotoquímica do fotossistema II, no conteúdo de citocromo b na clorofila e na quantidade de carotenos (LINDON et al., 1997; LOREN-PLUSINKCA e ZIEGLER, 1996; MOUSTAKAS et al, 1997), causando injúrias na formação e na função do cloroplasto (MOUSTAKAS et al., 1996), afetando as membranas do tilacóide e o transporte de elétrons ( PEREIRA et al., 2000; PEIXOTO et al., 2002), interferindo de forma direta na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>.

Contudo, em diversas espécies a exemplo de, trigo, milho, sorgo, verificaram-se respostas diferenciais da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e de variáveis relacionadas à indução de fluorescência da clorofila em função do grau de tolerância

ao Al (MACHADO e PEREIRA, 1990; MOUSTAKA et al., 1995; PEREIRA et al., 2000; PEIXOTO et al., 2002). Sendo que, em espécies ou cultivares mais tolerantes a taxa de fotossíntese é menos afetada; além disso, pode apresentar estratégias de adaptação do aparelho fotossintético em função da duração do estresse (PEIXOTO et al., 2002).

O cultivo da mamoneira, representa um considerável potencial econômico para o país por sua rusticidade e adaptabilidade à diferentes ambientes. Entretanto, o seu cultivo na maioria dos solos ácidos do nordeste, condiciona a paralisação do crescimento das raízes, dificultando a absorção dos nutrientes essenciais e água para o adequado desenvolvimento da planta.

A identificação de genótipos tolerante a este metal pode oferecer importantes subsídios à recomendação para plantio de genótipos que apresentem melhor potencial produtivo em decorrência da tolerância ao alumínio, visando melhor aproveitamento de solos ácidos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de genótipos de mamoneira cultivados em solução nutritiva sob diferentes concentrações de alumínio por meio de hidroponia e substrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAYA, M.; TAKENAKA, C. Effects of aluminum stress on photosynthesis of *Quercus glauca* Thunb. **Plant and Soil**, London, v.237, p.137-146, 2001.
- AMORIM-NETO, M. da S.; ARAÚJO, A. E. DE; BELTRÃO, N. E. de M. CLIMA E SOLO. In: AZEVEDO, D. M. P. DE; LIMA, E. F. O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 63-76. 2001.
- ANGHINONI, I; MEURER, E. J. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. In: Bissani, C. A.; Gianello, C.; Tedesco, M. J.; Camargo, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.33-42.
- ANJOS, O. F. **Exsudação de ácido málico e alongamento radicular de genótipos de milho tratado com níveis tóxicos de alumínio**. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG. 2007.51p.
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F.; **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. 350p.
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E.F.; BATISTA, F. A. S. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil**. Campina Grande, PB: MAARA/Embrapa- CNPA, (Circular técnico, 25), 1997, 52p.
- BAHIA H. F.; SILVA, S. A.; FERNANDEZ, L. G.; LEDO, C. A. da S.; MOREIRA, R. F. C. Divergência genética entre cinco cultivares de mamoneira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.357-362, 2008.
- BALDACIN, M. G.Z.K. **“Caracterização do gene Zmlim-1 de milho e seu papel na tolerância ao alumínio”**. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular, na área de Genética Vegetal e Melhoramento). Universidade Estadual de Campinas. Campina- SP, 2010.93p.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e óleos**, Campina Grande, V.1, n.31, p.7, 1999.
- BELTRÃO, N. E. M; SOUZA. J. G.; PEREIRA, J. R. Preparo do solo, adubação e calagem In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Coord.) **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348p.
- CANÇADO, G. M. A.; CARNEIRO, N. P.; CARNEIRO, A. A.; PURCINO, A. A. C.; GUIMARÃES, C. T.; ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; SOUZA, I. R. P.; PAIVA, E. Novas perspectivas para a adaptação de culturas ao cerrado. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, n. 23, p. 56-61, 2001.

CASTILHOS, G. **Estresse Oxidativo em Resposta ao Alumínio em Aveia Branca**. Tese (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre -RS, 2010.94p.

COSTA, F. X. ; SEVERINO, L. S. ; BELTRAO, N. E. M. ; FREIRE, R. M. M. ; FARIAS, D. R. ; LUCENA, A. M. A. ; GUIMARAES, M. M. B. **Avaliação química da torta de mamona**. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2004, Campina grande-PB. Energia e sustentabilidade, 2004.

ECHART, C.L; CAVLLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismos de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531, 2001.

FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Visçosa: [s.n], 2006. 432p.

FRÁGUAS, J.C. **Tolerância de porta-enxertos de videira ao alumínio do solo**. Pesquisa agropecuária brasileira., Brasília, v.34, n.7, p.1193-1200, jul. 1999.

FREIRE, R. M. M.; SOUSA, R. de L.; SALDANHA, L.; MILANI, M. **Avaliação da qualidade do óleo de mamona de diferentes genótipos**. IN: II Congresso Brasileiro de Mamona. Aracaju-SE. CD ROM, 2006.

GUIMARÃES, C.T. Caracterização da variabilidade genética e alélica da tolerância ao alumínio em gramíneas para sua utilização em programas de melhoramento. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, p.41, 2005.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F.I.F.;BERTAN, I.; SILVA, A.G.;SCHIMIDT, D. A. M.;VALÉRIO, I. P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.A.R.; REIS, C.E.S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. Associated mechanisms of aluminum tolerance in plants. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.2, p.219-228, 2007.

JOLY, A.B. **Botânica: Introdução a taxonomia vegetal**. 13.ed. São Paulo. Companhia Editora Nacional, 2002.777p.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, California, 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**, 55: 459-493, 2004.

KONRAD, M. L. F., SILVA, J. A. B., FURLANI, P. R., MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, V. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

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. **Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n.1, p.15-21, 2007.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZZETA, J. O.; SAMPAIO, L. R.; LEÃO, A. B.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, M. A. de O.; SILVA, L. V. B. D. **Tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio**. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. Anais...Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007. Disponível também em CD. **Biblioteca(s): CNPA** (PL 662.669-C749 UPC); **CNPA** (PL 662.669-C749 UPC).

LINDON, F. C., RAMALHO, J. C., BARREIRO, M.G., LAURIANO, J. Modulation of photosystem 2 reactions mediated by aluminium toxicity. In **Zea mays. Photosynthetica**, V.34, p. 151 a 156, 1997.

LOREN-PLUSINKKA, G.; ZIEGLER, H. Changes in ATP levels in Scot pine needles during aluminium stress. **Photosynthetica**, 32: 141-144, 1996.

MACHADO, E. C; PEREIRA, A. R. Eficiência de conversão e coeficiente de manutenção da planta inteira, das raízes e da parte aérea em milho e arroz submetidos ao estresse de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 25: 845-855, 1990.

MAZZANI, B. **Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas**. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, p. 71, 1983.

MENDONÇA, J. R., CAMBRAIA, J., OLIVEIRA, A. J. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.7, p.843-848, 2003.

MOUSTAKA, M; OUZOUNIDOU, G.; LANNOYER, R. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant and non-tolerant wheat cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, p.669-683, 1995.

MOUSTAKA, M; OUZOUNIDOU, G.; LANNOYER, R. Indirect effects of aluminum stress on function of the photosynthetic apparatus. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.34, p.553-569, 1996.

MOUSTAKAS, M., ELEFThERIOU, E. P., OUZOUNIDOU, G. Short-term effects of aluminium stress at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. **Photosynthetica**, V.34, p. 169 a 177, 1997.

MIYASAKA, S. C.; BUTA, J. G.; HOWELL, R. K.; FOY, C. D. Mechanism of aluminum tolerance in snapbeans: **root exudation of citric acid**. *Plant Physiology*, Rockville, v. 96, p.737-743, 1991.

NAVA, I.C. **Estratégias de avaliação e herança da tolerância ao alumínio em linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.)** Tese ( Mestrado em Fitotecnia). Faculdade de Agradomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), Brasil, 2005. 92f.

PASSOS, A. R., Silva, S. A., Carvalho, F. I. F. de, Hartwig, I., Crestani, M., Cançado, E. S. **Tolerância de cultivares de mamoneira à toxicidade de alumínio em solução.** III Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Ricinoquímica. 2008.

PASSOS, A. R. **Avaliação de Cultivares de Mamoneira para Tolerância ao Alumínio Tóxico e Insensibilidade ao Ácido Giberélico.** Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas–BA, 2009.109p.

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; SOUZA, J. M. P. F.; PÉREZ, D. V.; Anjos, L. H. C. **Parâmetros relacionados à acidez em solos do Estado do Rio de Janeiro.** Cruz das Almas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1998. (Circular Técnica nº 2).

PEREIRA, W.E.; SIQUEIRA, D.L.; MARTINEZ, C.A.; PUIATTI, M. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. **Journal of Plant Physiology**, v.157, p.513-520, 2000.

PEIXOTO, P. H. P., DAMATTA, F.M., CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminium stress in two sorghum cultivars. **Journal of plant Nutrition**, New York, V.25, p.821-832, 2002.

PORTALUPPI, R. **Caracterização molecular e estudo da variabilidade genética em cereais de inverno quanto a tolerância do alumínio tóxico.** Tese (Mestrado em Produção Vegetal). Passo Fundo. Passo Fundo, 2008.123p.

RIBEIRO, M. F. **Micropropagação e estresse oxidativo de pereira e marmeleiro cultivados em meio contendo alumínio.** Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS, 2010.87p.

RICHARDS, K. D.; SCHOTT, E. J.; SHARMA, Y. K.; DAVIS, K. R.; GARDNER, R. C. Aluminum induces oxidative stress genes in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, p. 409-418, 1998.

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

SAVY FILHO, A. Melhoramento da mamona. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 385-407.

SCHUCH, M. W.; CELLINI, A.; MASIA, A.; MARINO, G. Alumínio e estresse oxidativo em porta-enxerto de pereira, marmeleiro BA 29, *in vitro*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20, 2008, Vitória – ES. **Anais...** Vitória – ES: SBF, 2008. CD-ROM.

SILVA, S. D. A.; GOMES, C. B.; UENO, B.; ANTHONISEN, D. G.; GALHARÇA, S.P.; BAMMANN, I.; ZANATTA Z. G. C. N. **Avaliação de cultivares de mamona em Pelotas - RS**, Safra 2003/04. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA,

1.,2004, Campina Grande. **Anais....** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CDROM.

SOUZA, L. A. de.,CARVALHO,M. L. M. de.,KATAOKA, VY., OLIVEIRA, J. A. de. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Sementes**, Lavras,v. 31, n.1, p.60-67, 2007.

TABALDI, L. A. **Avaliação Bioquímica-Fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio.** Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, Brasil.2008. 192p.

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminium tolerance in higher plant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1179-1194, 1988.

WEISS, E. A. Oilseed Crops. London: **Blacwell Science**, 2000. 364 p.

VARGAS, D.P. MAMONA (*Ricinus communis* L.): **Cultura de antera, viabilidade e conservação de pólen.**Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Pelotas.Pelotas- RS, 2006.98p.

## **CAPITULO 1**

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DOS GENÓTIPOS BRS  
129 NORDESTINA E EBDA MPB 01, DE MAMONEIRA, SOB  
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO POR MEIO  
DE HIDROPONIA**

## **AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DOS GENÓTIPOS BRS 129 NORDESTINA E EBDA MPB 01, DE MAMONEIRA, SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO POR MEIO DE HIDROPONIA**

**RESUMO-** Objetivou-se estudar os efeitos do alumínio, em solução nutritiva, no crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 de mamoneira, por meio da técnica hidropônica. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Os tratamentos consistiram de uma combinação fatorial (5x2) de cinco níveis de alumínio (0, 50, 70, 90, 120 ppm de  $Al^{+3}$ ) e dois genótipos de mamoneira (BRS Nordestina e EBDA MPB 01). Para condução experimental, as sementes foram pré-germinadas e transferidas para telas acopladas a um recipiente contendo solução nutritiva, em tanque banho-maria, por 48 h. Após, as plântulas foram submetidas a solução tratamento com alumínio por 48 h. Posteriormente, retornaram para a solução nutritiva por 72 h. Decorridas essas etapas foram aferidos os caracteres indicativos de tolerância ao alumínio: comprimento e diâmetro da raiz principal, retomada de crescimento da raiz principal e crescimento da raiz secundária. O genótipo BRS 129 Nordestina apresentou melhor resposta ao alumínio em relação a EBDA MPB 01. Observou-se também, que as concentrações maiores de alumínio (90 e 120 mg) afetaram significativamente o crescimento dos genótipos analisados em solução nutritiva.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis*, tolerância, toxicidade.

**EVALUATION OF THE GROWTH OF GENOTYPES BRS 129 Northeast and EBDA MPB 01, castor bean, UNDER DIFFERENT CONCENTRATIONS OF ALUMINUM BY HYDROPONICS**

**ABSTRACT**-The objective was to study the effects of aluminum in nutrient solution on the growth of BRS 129 Northeastern and EBDA MPB 01 castor bean. through the hydroponic technique. The experiment was a completely randomized design with 5 replications. Treatments consisted of a factorial combination (5x2) with five levels (0, 50, 70, 90, 120 ppm of Al<sup>+3</sup>) and two genotypes of castor bean (BRS Northeastern and EBDA MPB 01). To conduct experimental seeds were pre-germinated and transferred onto screens coupled to a container containing nutrient solution tank in a water bath for 48 h. After seedlings were subjected to treatment with aluminum solution for 48 h. Subsequently returned to the nutrient solution for 72 h. After these steps were measured characters indicative of aluminum tolerance: length and diameter of the main root, root growth resumption of primary and secondary root growth. The genotype BRS 129 Nordeste showed better response to aluminum in relation to MPB EBDA 01. It was also observed that the higher concentrations of aluminum (90 and 120 mg) significantly affected the growth of the genotypes analyzed in nutrient solution.

**Keywords:** *Ricinus communis*, tolerance, toxicity.

## 1. INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis*) é uma espécie disseminada em quase toda extensão territorial. A facilidade de propagação e adaptação em diferentes condições climáticas permitiu a mamona ser explorada em várias regiões do Brasil, com o cultivo destinado principalmente a produção de óleo (BELTRÃO et al., 2001). Sendo uma alternativa potencial para geração de emprego e renda de agricultores familiares (PARENTE, 2003).

A baixa fertilidade do solo é um fator limitante à produção das culturas. Ela ocorre em solos altamente intemperizados e lixiviados, tanto em regiões tropicais quanto temperadas, onde a toxicidade de alumínio freqüentemente é o principal problema (SILVA et al., 2002;) Sendo assim, um dos entraves a expansão agrícola da mamona e outras cultivares no país é a acidez do solo. Estima-se que 60% dos solos brasileiros com potencial agrícola sejam ácidos (ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006), apresentando elevada concentração de alumínio e em menor escala ferro e manganês. Estes elementos prejudicam o crescimento radicular e, conseqüentemente, diminuem a absorção dos demais nutrientes, afetando o desenvolvimento da planta (LIMBERGER, 2006).

A tolerância de várias espécies vegetais, a exemplo do arroz, ao alumínio está relacionada à capacidade das plantas conservarem em suas raízes ou na parte aérea níveis adequados de certos nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento (MENDONÇA et al., 2003). O efeito fitotóxico do alumínio é notado inicialmente pela redução da taxa de alongação radicular após o contato com a solução contendo alumínio, tornando-as engrossadas, com coloração marrom, menos ramificadas, quebradiças, ocasionalmente com manchas necróticas (VELOSO et al., 2000) e com drástica redução no crescimento da parte aérea (BEUTLER et al., 2001). Os efeitos do alumínio sobre o crescimento da mamoneira, por meio de hidroponia, ainda são inéditos.

A avaliação da resposta de espécies vegetais ao alumínio pode ser realizada através do uso da técnica de hidroponia. Essa técnica apresenta inúmeras vantagens em relação às metodologias que envolvem o cultivo em campo. No cultivo hidropônico, o sistema radicular é facilmente observado e permite a medição das raízes de modo preciso, pois as estruturas sofrem menos danos físicos ao serem

retiradas da solução nutritiva, em comparação ao solo (PORTALUPPI, 2008). Além de ser um método rápido, que possibilita a avaliação de um grande número de plantas, em um curto período de tempo, onde as condições são perfeitamente controladas (NAVA, 2005).

Assim, o presente trabalho teve por finalidade estudar os efeitos do alumínio, em solução nutritiva, no crescimento dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 de mamoneira (*Ricinus communis*), submetidas a diferentes concentrações de alumínio por meio da técnica hidropônica.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no laboratório de hidroponia do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia (NBIO), situado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas, Bahia.

Antes da avaliação do efeito do alumínio sob o crescimento dos genótipos da mamoneira, por meio de hidroponia, fez-se necessário o preparo das soluções descritas, abaixo.

### **2.1 Preparo de soluções**

Um total de oito soluções foram preparadas para a condução do experimento. As soluções foram: soluções estoques 1, 2, 3, 4, 5 e 6 contendo cálcio, magnésio, nitratos, sulfatos, potássio, fósforo, e micronutrientes (boro, sódio, molibdênio, cloro, zinco, cobre e manganês), respectivamente. Para cada solução, utilizaram-se proporções a serem dissolvidas em 2 litros de água destilada. A solução 7 composta por 86,5 mL/ 2L (Fe + EDTA =  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  + Na EDTA) foi preparada utilizando água aquecida até 80°C para evitar a precipitação do Fe. A solução 8 foi preparada utilizando 0,481g/2L de ferro hepta hidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

A solução nutritiva completa para cada pote de 4 litros, foi composta por 47,3 mL da solução 1-2-3-4-5-6 + 4,73 mL da solução 7. Porém, a solução tratamento foi composta pela décima parte da solução nutritiva contendo 4,73 mL de cada solução:

1, 2, 3, 4, 6, 8 +  $Al^{3+}$  , sendo que, a solução 5 não foi utilizada para evitar a possível precipitação do  $Al^{3+}$  (Tabelas 1 e 2) (DORNELLES et al., 1997 ).

**Tabela1.** Macronutrientes utilizados no preparo das soluções para o cultivo hidropônico de *Ricinus communis*.

Macronutrientes	Quantidade 2 L
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O (nitrato de cálcio tetra hidratado)	156,8 g
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O(sulfato de magnésio hepta hidratado)	81,84g
KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67,13g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (sulfato de amônio)	9,54g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (potássio fosfato monobásico)	11,29g

**Tabela 2.** Micronutrientes utilizados no preparo das soluções para o cultivo hidropônico de *Ricinus communis*.

Micronutrientes	Quantidade 2L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.10292 g
Na <sub>2</sub> Mo O <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> OKNO <sub>3</sub>	0.00402 g
NaCl	0.29134 g
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.03812g
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0.01246 g
MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	0.07404 g

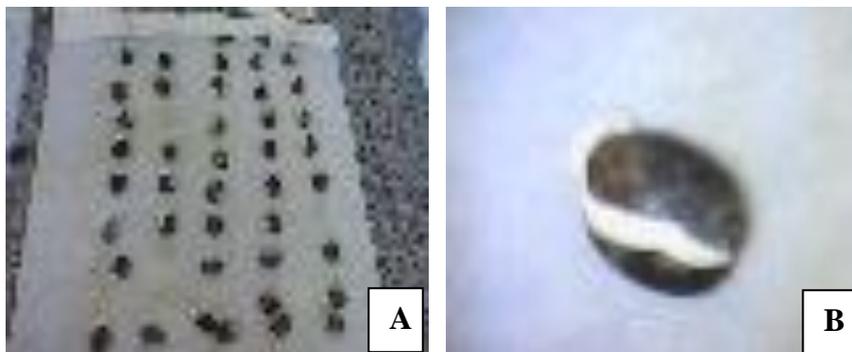
## 2.2 Germinação das sementes

Para a condução experimental da sensibilidade ao alumínio, as sementes deveriam apresentar emissão de radículas uniforme com tamanho entre 2 e 5 mm. Assim, foram realizados testes com as sementes dos genótipos EBDA MPA 01 e BRS 129 Nordestina para avaliação do período necessário para a germinação das sementes, com a finalidade de verificar o período em que as radículas apresentam tamanhos homogêneos (Figura 1 A).

O experimento foi conduzido de acordo com Camargo e Oliveira (1981) e adaptado por Dornelles et al. (1997). O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado com três repatições (5 plântulas/repetição), totalizando 15 plântulas,

num esquema fatorial 2 x 5 (dois genótipo e cinco doses de  $Al^{3+}$ ),. Para tanto, um total de 130 sementes dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 foi desinfestado em solução de hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial) por 20 minutos. Após, as sementes foram enxaguadas em água destilada e semeadas sobre papel germitex umedecido com água destilada e levadas para germinar em germinador, a temperatura de 20°C com iluminação permanente. As sementes dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 permaneceram por dois e três dias, respectivamente, no germinador até o início da germinação visível.

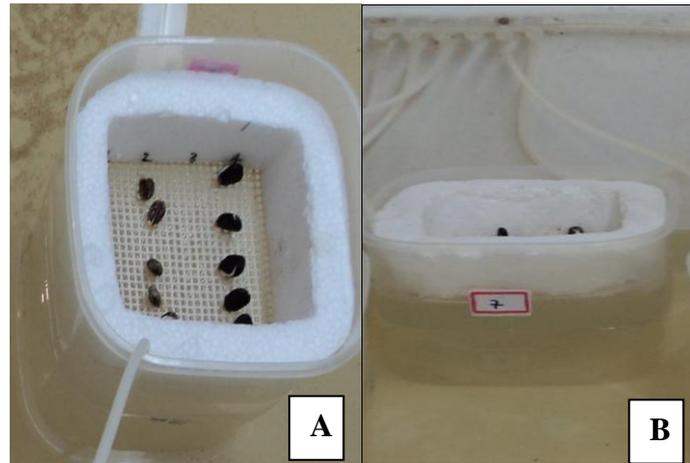
Para cada genótipo foram selecionadas 45 semente de acordo com o tamanho da radícula (entre 2 e 5mm) (Figura 1 B).



**Figura 1.** Pré-germinação das sementes dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 **A-** Germinação das sementes em papel germitex umedecido com água destilada e **B-** Germinação visível com 2 a 5 mm de radícula.

### 2.3 Hidroponia

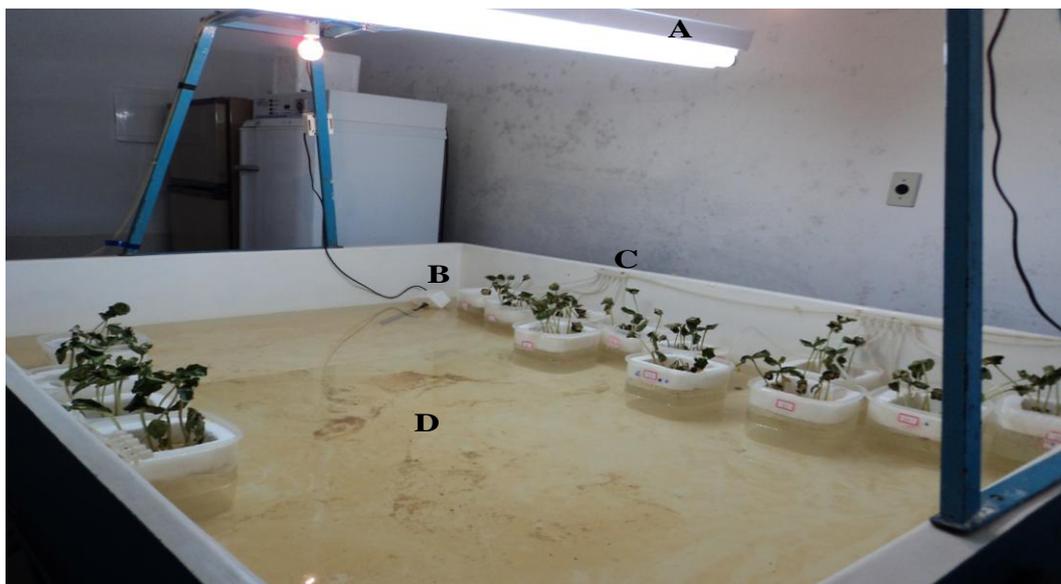
As sementes selecionadas foram colocadas sobre uma tela adaptada a um recipiente com capacidade para 5,5 litros, contendo 4 litros de solução nutritiva com pH entre 3,7 a 4,3. A tela foi dividida em duas fileiras. Cada fileira continha cinco sementes de cada genótipo (Figura 2A e 2B). O experimento foi realizado em triplicata.



**Figura 2.** Sementes pré-germinadas dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01, em solução nutritiva: **A-** Disposição das sementes com 2 a 5 mm de radícula em fileira. **B-** Telas acopladas ao recipiente contendo solução nutritiva e a um sistema de aeração.

Os referidos recipientes foram colocados em tanque banho-maria, com cinco centímetros da borda superior do recipiente acima da superfície da água (Figura 3). A temperatura do tanque hidropônico foi mantida a  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ , com auxílio de resistências elétricas. Também, a intensidade luminosa foi controlada por 24 horas diárias através de lâmpadas fluorescentes localizadas acima do tanque.

A oxigenação, necessária ao desenvolvimento radicular das plântulas, foi proveniente de um sistema de aeração idêntico ao compressor.



**Figura 3.** Cultivo hidropônico de *Ricinus communis*: experimento de resposta ao alumínio. **A:** Sistema de iluminação permanente, **B:** Termostato mantendo a temperatura da água em  $25^{\circ}$  e **C:** Sistema de aeração com tubos ligados aos vasos com as amostras, **D:** Termômetro.

O estudo de tolerância da mamoneira ao alumínio aconteceu em três etapas:

### **Etapa 1:**

As sementes foram submetidas a solução nutritiva completa por 48 horas, para o desenvolvimento e crescimento inicial do sistema radicular.

### **Etapa 2:**

Após a etapa 1, as plântulas foram transferidas para recipientes contendo a solução tratamento (solução nutritiva +  $Al^{3+}$ ). Para cada réplica foram adicionadas (0, 50, 70, 90 e 120 ppm de  $Al^{3+}$ ) onde permaneceram por mais 48 horas.

### **Etapa 3:**

As plântulas foram submetidas novamente à solução nutritiva completa por um período de 72 horas. Essa etapa é importante para se observar o reecrescimento ou não das raízes após o processo de formação de calose provocado pelo excesso do alumínio. Após as etapas descritas foram aferidos os caracteres indicativos de tolerância ao alumínio.

## **2.4 Avaliação da tolerância ao alumínio**

A avaliação dos caracteres de tolerância ao alumínio tóxico foi feita por meio de medições: crescimento da raiz principal (CRP), retomada de crescimento da raiz principal (RCRP), Crescimento da raiz secundária (CRS) e diâmetro da raiz principal (DRP). As medições das CRP e RCRP foram aferidas com auxílio de uma régua graduada e a DRP com o auxílio de um paquímetro. A RCRP é medida a partir do ponto de dano causado pela toxicidade do  $Al^{3+}$ .

Realizou-se a análise de variância, para genótipos: comparação de médias (teste de Turkey a 5%) e para doses: regressão através do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis: crescimento da raiz principal (CRP) e crescimento da raiz secundária (CRS) para os fatores genótipo, dose e genótipo x dose; retomada do crescimento da raiz principal (RCRP) apenas para dose e diâmetro da raiz principal (DRP) para genótipo. O resumo desses resultados pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Comprimento da Raiz principal (CRP), Retomada de Crescimento da Raiz Principal (RCRP), Diâmetro da Raiz Principal, Crescimento da Raiz Secundária (CRS) e Diâmetro da Raiz Principal após o tratamento com alumínio (DRP AL), submetidas a cinco doses de alumínio. UFRB, 2011.

Fonte de Variação	Quadrado Médio				
	GL	CRP	RCRP	CRS	DRP
Genótipo <sup>1</sup>	1	15, 97*	0, 12 (ns)	24,563*	2,72*
Dose Al <sup>2</sup>	4	310, 42*	0, 72*	165,61*	0,19(ns)
Genótipo x Dose Al	4	3, 36*	0,06(ns)	22,68*	0,16(ns)
Resíduo	140	0,90	0,06	0,40	0,11
Coeficiente de Variação (%)		11,76	127,9	12,74	14,02

<sup>1</sup> Genótipo = Nordeste e EBDA MPB01

<sup>2</sup> Dose = 0, 50, 70, 90, e 120 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>.

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

(ns) não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

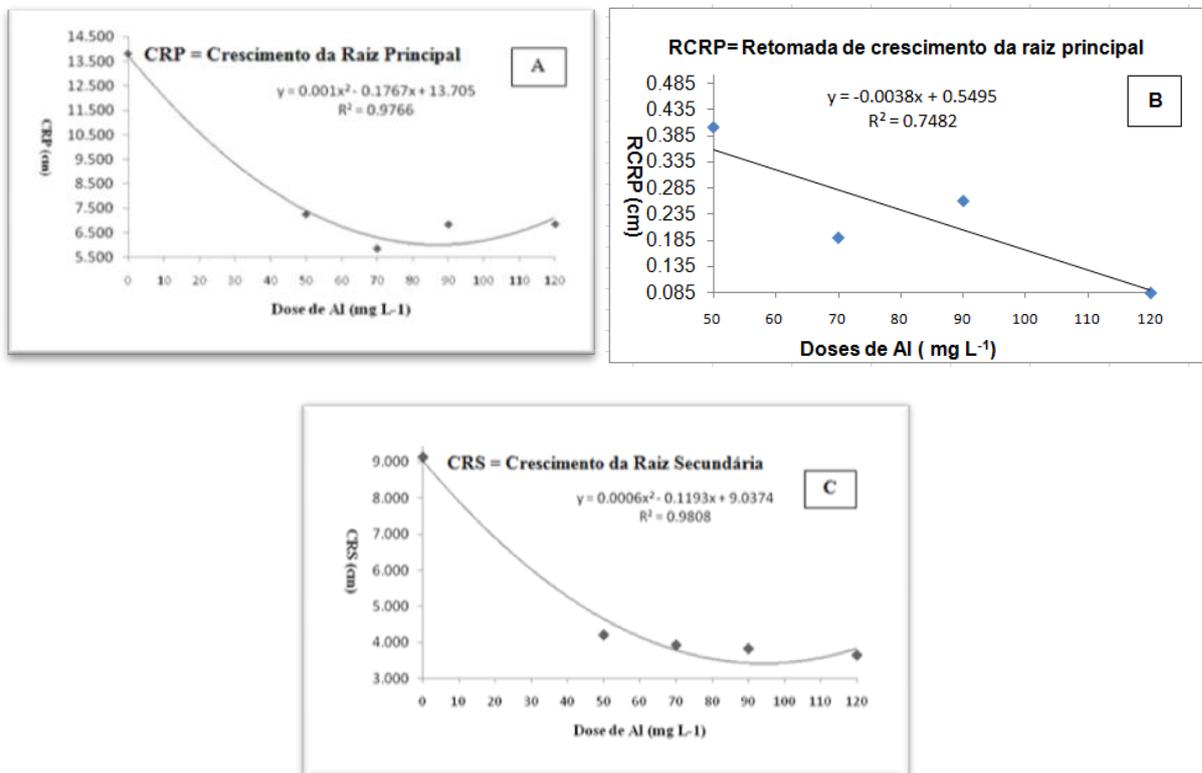
A avaliação entre os genótipos, por meio do teste de média pelo teste de Turkey, apontou o genótipo BRS 129 Nordeste superior com relação ao genótipo EBDA MPB 01 para os caracteres CRP, DRP e CRS (Tabela 4).

**Tabela 4.** Comparação entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPB 01 para as variáveis: CRP (Crescimento da Raiz Principal), DRP (Diâmetro da Raiz Principal) e CRS (Crescimento da Raiz Secundária).

Genótipo	Médias		
	CRP	DRP	CRS
BRS 129 Nordestina	8,436a	2,539a	5,357a
EBDA MPB 01	7,783b	2,269b	4,548b

Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Os efeitos das diferentes doses de alumínio sobre o desenvolvimento dos genótipos foram avaliados por meio da análise de regressão, por se tratar de uma característica quantitativa. As equações de regressão foram estabelecidas para as variáveis CRP, RCRP, e CRS (Figura 4A, B e C).



**Figura 4.** Equações de regressão para as variáveis: A- Crescimento da Raiz Principal (CRP), B- Retomada de Crescimento da Raiz Principal (RCRP) e C- Crescimento da Raiz Secundária (CRS), respectivamente, avaliados em dois

genótipos de mamoneira sob distintas doses de Al (0, 50, 70, 90 e 120 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>).

Para a variável comprimento da raiz principal a análise de variância apresentou significância ( $p \leq 0,05$ ).

A figura 4A mostra que os genótipos de mamoneira apresentaram limitação no crescimento da raiz principal à medida que aumentava a dosagem de alumínio na solução tratamento. O comprimento estimado das raízes, na dose de 120,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> foi de 6,84 cm. Este valor caracterizou uma redução de 100,3% em relação ao controle que apresentou um comprimento de 13,703 cm. Santos et al. (2010), em trabalhos com rúcula observaram que o crescimento e o desenvolvimento das plantas de rúcula foram reduzidos na presença de alumínio tóxico (AlCl<sub>3</sub>) quando cultivadas com solução nutritiva. O mesmo foi observado por Passos (2009) em diferentes genótipos de mamoneira, mostrando que o aumento das concentrações de alumínio direcionou para uma redução progressiva no comprimento da raiz. Estes resultados indica que existe uma concentração de alumínio que pode limitar o crescimento regular das raízes e que concentrações muito elevadas condicionam a uma redução drástica do comprimento da raiz. A redução do comprimento da raiz inviabiliza um maior volume dessas a maiores profundidades e restringindo a absorção de água e nutrientes pela planta. Em genótipos de arroz foi observado que o alumínio levou a uma significativa redução da absorção dos macronutrientes P, Mg, Ca e K em cultivo hidropônico (FREITAS et al., 2006).

A retomada de crescimento da raiz principal nestimada foi de 0,08 cm na dose de 120,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>. Esse resultado aponta uma redução de 400% da RCRP (120,0 0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>) em relação a menor dose (50,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> de solução). Nesta concentração o comprimento foi de 0,40 cm. Em estudos com mamoneira, foi observado que o aumento das concentrações direcionou para uma redução progressiva na RCRP, sinalizando que a maior concentração indicaria limitações a eficiência da produção da planta (PASSOS, 2009). Em estudos com aveia e trigo, submetidos a 20ppm de alumínio tóxico, houve diferenças significativa no recrescimento radicular entre os genótipos de aveia analisados, já em estudos com trigo não houve recrescimento radicular para nenhum dos genótipos avaliados (NAVA, 2005).

Para a variável CRS, foi observado uma acentuada diminuição do crescimento das raízes secundárias que começa na dosagem de 50 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>

(Figura 4C). A CRS, na dose de  $120,0 \text{ mg Al}^{3+} \text{ L}^{-1}$ , apresentou comprimento de 3,65cm, com uma redução de 148% em relação ao controle que apresentou comprimento de 9,0374cm.

As linhas de tendência referentes a Figura 4 mostram um decréscimo para as variáveis estudadas já na dosagem  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{+3}$ . Portanto, supõe-se que existe uma concentração de  $\text{Al}^{+3}$ , que inibe, em maior grau, o crescimento regular das raízes, sendo que doses elevadas proporcionam diminuição elevada do crescimento da raiz, inviabilizando assim, a absorção de nutrientes e água essenciais para o desenvolvimento da planta (BEUTLER et al., 2001).

Para os genótipos analisados, pôde-se observar que o alumínio proporcionou uma diminuição drástica no comprimento da raiz, demonstrando que altas concentrações de  $\text{Al}^{+3}$  podem limitar o crescimento e produtividade da planta.

Também, a avaliação visual revelou que conforme aumenta a dosagem de alumínio na solução, as raízes apresentam uma coloração mais escura e raízes secundárias menos numerosas. O mesmo foi observado em goiabeira por SALVADOR et al., (2000).

#### **4. CONCLUSÃO**

- 1- O crescimento das plantas de mamoneira é reduzido na presença de alumínio tóxico;
- 2- O genótipo BRS 129 Nordestina mostrou-se superior em comparação a EBDA MPB01, para as variáveis: CRP, CRS e DRP.
- 3- Concentrações mais baixas de alumínio e novos genótipos de mamoneira devem ser testados a fim de conseguir a seleção de genótipos tolerante ao alumínio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.923-928, 2001.
- BELTRÃO, N. E. M; SOUZA, J. G.; PEREIRA, J. R. Preparo do solo, adubação e calagem In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Coord.) **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348p.
- CAMARGO, C. E. O.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, V. 40, nº 3, Campinas, 1981.
- DORNELLES, A. L. C.; CARVALHO, F. I. F.; FEDERIZZI, L. C. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, 1997.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 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**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 72-79, 2006.
- LIMBERGER, E. **Identificação de Genes Responsivos ao Alumínio Tóxico em Aveia Branca (*Avena Sativa* L.)**. Tese( Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2006.
- MENDONÇA, J. R., CAMBRAIA, J., OLIVEIRA, A. J. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.7, p.843-848, 2003.
- NAVA, I.C. **Estratégias de avaliação e herança da tolerância ao alumínio em linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.)** Tese (Mestrado em Fitotecnia) Faculdade de Agranomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre –RS, 2005. 102p.
- PARENTE, E. J. S. Biodiesel no plural: Oportunidades e ameaças para um programa nacional. In: HOLANDA A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília. 2003.200p.
- PASSOS, A. R. **Avaliação de Cultivares de Mamoneira para Tolerância ao Alumínio Tóxico e Insensibilidade ao Ácido Giberélico**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas–BA, 2009.109p.

PORTALUPPI, R. **Caracterização molecular e estudo da variabilidade genética em cereais de inverno quanto a tolerância do alumínio tóxico**. Tese (Mestrado em Produção Vegetal). Passo Fundo. Passo Fundo, 2008.123p.

ROSSIELLO, R. O. P., JACOB NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S. (ed) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.375-418.

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

SILVA, L. M. **Crescimento radicular e nutrição mineral de cultivares de feijão em resposta a calagem**. Tese (Mestrado em Agricultura), Faculdade de Ciência Agrônoma, Universidade Estadual Paulista, 'Júlio de Mesquita Filho'. Botucatu-SP, 2002.70p.

VELOSO, C. A. C., MALAVOLTA, E., MURAOKA, T., CARVALHO, E. J. M. Alumínio e absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. **Sci. Agric.** v.57, n.1, p.01-06, 2000.

## **CAPÍTULO 2**

**EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO SOBRE O CRESCIMENTO  
DOS GENÓTIPOS BRS 129 NORDESTINA E EBDA MPA 33,  
DE MAMONEIRA, EM NÍVEL DE SUBSTRATO**

## EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO SOBRE O CRESCIMENTO DOS GENÓTIPOS BRS 129 NORDESTINA E EBDA MPA 33, DE MAMONEIRA, EM NÍVEL DE SUBSTRATO

**RESUMO:** Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento, fotossíntese, respiração e transpiração dos genótipos BRS 129 Nordeste e EBDA MPA 33 de *Ricinus communis*, em nível de substrato. O experimento foi realizado em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizados com 4 repetições, 5 níveis de alumínio (0, 15, 30, 45, 60 ppm de  $Al^{3+}$ ) e dois genótipos de mamoneira (BRS Nordeste e EBDA MPA 33). As sementes foram desinfestadas e semeadas em areia lavada em vaso de 2 kg e irrigadas com água destilada, por 10 dias. Após, a rega foi feita com solução nutritiva por 20 dias e posteriormente, com as soluções tratamento por 16 dias. Decorrido essas etapas foram aferidos os caracteres indicativos de tolerância ao alumínio: comprimento da parte aérea, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca do caule das folhas e das raízes, área foliar e taxas de: fotossíntese líquida, de transpiração, de condutância estomática e a razão entre a concentração de  $CO_2$  no mesófilo e na atmosfera. Pelos resultados obtidos concluiu-se que para as análises morfológicas, o genótipo BRS 129 Nordeste mostrou-se mais tolerante à toxicidade de  $Al^{3+}$  em relação a EBDA MPA 33 que demonstrou ser mais sensível à toxicidade de  $Al^{3+}$ . Já, para as avaliações fisiológicas não houve efeito significativo entre os genótipos. Porém a presença do alumínio tóxico interferiu no comportamento fisiológico dos genótipos de mamoneira as quais apresentaram anormalidades típicas de injúrias provocada por este metal.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L., solos ácidos, tolerância.

## TOXIC EFFECT OF ALUMINUM ON THE GROWTH OF GENOTYPES BRS 129 NORTHEAST AND EBDA MPA 33, CASTOR BEAN, LEVEL OF SUBSTRATE

**ABSTRACT:** This study aimed to examine the toxic effects of aluminum on growth, photosynthesis, respiration and transpiration genotypes of BRS 129 Northeastern and EBDA MPA 33 of *Ricinus communis*, in substrate level. The experiment was conducted in a greenhouse, with completely randomized design with four replications, 5 aluminum levels (0, 15, 30, 45, 60 ppm of  $Al^{+3}$ ) and two genotypes of castor bean (BRS Northeastern and EBDA MPA 33) . Seeds were sterilized and sown in washed sand in pots of 2 kg and irrigated with distilled water for 10 days. Thereafter, irrigation was performed with nutrient solution and for 20 days thereafter, treatment with solutions for 16 days. Elapsed these steps were measured characters indicative of aluminum tolerance: shoot length, stem diameter, number of leaves, stem dry weight of leaves and roots, leaf area and rates of net photosynthesis, transpiration, conductance stomatal and the ratio between the concentration of  $CO_2$  in the mesophyll and the atmosphere. From the results obtained it was concluded that for the morphological analysis, the BRS 129 Nordeste genotype was more tolerant of  $Al^{+3}$  toxicity compared to EBDA MPA 33 that proved to be most sensitive to the toxicity of  $Al^{+3}$ . Already, for physiological evaluations there was no significant effect among genotypes. Porém the presence of toxic aluminum interfere with the physiological behavior of castor bean genotypes which showed abnormalities typical of injuries caused by this metal.

**Keywords:** *Ricinus communis* L., acid soils, tolerance.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as espécies oleaginosas cultivadas no Brasil, a mamoneira (*Ricinus communis*) possui grande importância por produzir um óleo com características químicas únicas e com largo emprego na indústria química.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de mamona. Essa cultura é cultivada de Norte a Sul do País. Na última década, a mamoneira passou a receber uma maior atenção por conta do lançamento de variedades mais produtivas e adaptadas às condições adversas de clima e solo, a exemplo da cultivar BRS Nordestina, com vistas a atender às exigências do mercado de óleo (LIMA et al., 2007).

A mamona é uma cultura que vem se destacando por ser de fácil cultivo e baixo custo de produção. No entanto, têm-se observado uma baixa produtividade da mamoneira em solos com ausência de calagem, fato indicativo de sensibilidade dessa cultura a solos ácidos (SOUZA; NEPTUNE, 1976 apud PASSOS et al., 2008).

Os solos ácidos atingem cerca de 50% das terras potencialmente agricultáveis no mundo, representando um bilhão de hectares de solos tropicais e temperados e 68% do território brasileiro (PORTALUPPI, 2008). Estes solos, geralmente, apresentam elevada concentração de alumínio que promovem inibição do crescimento de plantas, especialmente devido a deficiência de fósforo e ao estresse causado pelo alumínio (TABALDI, 2008). Contudo, o baixo pH do solo aliado a presença de alumínio constitui um cenário crítico para o cultivo de diversas culturas de interesse agrônomo.

A alta disponibilidade de prótons ( $H^+$ ) converte o alumínio da forma bivalente ( $Al^{2+}$ ) para a forma trivalente ( $Al^{3+}$ ). O íon trivalente de alumínio é tóxico as plantas, por competir por nutrientes essenciais ao desenvolvimento celular, como o cálcio e o fósforo, induzindo o depósito de calose, que impedem o fluxo celular e, principalmente, por gerar espécies reativas de oxigênio, como peróxido e superóxido, que oxidam biomoléculas como lipoproteínas da membrana plasmática (ECHART e CAVALLI-MOLINA, 2001).

A toxidez provocada pelo  $Al^{3+}$  e seus significativos prejuízos no desenvolvimento da planta tem sido um problema estudado desde as primeiras décadas do século passado, devido a toxidez iônica (CASTILHOS, 2010). Os efeitos

da toxidez de Al nas plantas podem ser notados através da drástica redução do desenvolvimento das raízes, decorrente da inibição do processo de divisão celular; engrossamento e pouca ramificação das raízes. Também, há uma desorganização dos meristemas; escurecimento das raízes por necrose dos tecidos; acumulação de Al no protoplasma e núcleo das células do córtex das raízes; além de inibir a absorção e translocação dos elementos fósforo e cálcio para a parte aérea (ANGHINONI e MEURER, 2004) prejudicando assim, a absorção de nutrientes e água pela planta (RIBEIRO, 2010).

Os efeitos tóxicos do Al sobre o crescimento da parte aérea podem ocorrer como consequência secundária. Portanto, a diminuição do crescimento da planta pode ser resultado da redução da atividade fotossintética, que por sua vez pode estar relacionada com fatores estomáticos e não estomáticos (KONRAD et al., 2005).

Em algumas espécies, como por exemplo, o trigo, milho e o sorgo, observou-se que a toxidez do Al causa na fisiologia da planta queda na condutância estomática e nas reações bioquímicas de fixação de CO<sub>2</sub> (PEREIRA et al., 2000; AKAYA e TAKENAKA, 2001; PEIXOTO et al., 2002). A toxidez do Al também, pode reduzir a eficiência fotoquímica do fotossistema II, no conteúdo de citocromo b na clorofila e na quantidade de carotenos (LINDON et al., 1997; LOREN-PLUSINKCA e ZIEGLER, 1996; MOUSTAKAS et al, 1997), causando injúrias na formação e na função do cloroplasto (MOUSTAKAS et al., 1996), afetando as membranas do tilacóide e o transporte de elétrons ( PEREIRA et al., 2000; PEIXOTO et al., 2002), interferindo de forma direta na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>.

A tolerância ao alumínio de várias espécies vegetais, tais como sorgo (PEIXOTO et al., 2002), citros (PEREIRA et al., 2000) e trigo (MOUSTAKAS et al., 1995) dentre outras, tem sido atribuída à capacidade das plantas manterem em suas raízes ou na parte aérea níveis adequados de certos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento e crescimento (MENDONÇA et al., 2003).

Neste contexto, a identificação e seleção de genótipos de mamoneira mais tolerantes ao alumínio podem oferecer importantes subsídios à recomendação de genótipos, visando um melhor aproveitamento de solos ácidos. Sendo assim, este estudo teve por finalidade analisar os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento e fisiologia dos genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33 de *Ricinus communis*, em nível de substrato.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB, no Município de Cruz das Almas, Bahia.

Antes da avaliação de tolerância ao alumínio dos genótipos, fez-se necessário o preparo das soluções descritas, abaixo.

### 2.1 Preparo de soluções

Um total de oito soluções foram preparadas para a condução do experimento. As soluções foram: soluções estoques 1, 2, 3, 4, 5 e 6 contendo cálcio, magnésio, potássio, fósforo, nitratos, sulfatos e micronutrientes (boro, sódio, molibdênio, cloro, zinco, cobre e manganês). Para cada solução, utilizaram-se proporções a serem dissolvidas em 2 litros de água destilada. A solução 7 composta por 86,5 mL/ 2L (Fe + EDTA = FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O + Na EDTA) foi preparada utilizando água aquecida até 80°C para evitar a precipitação do Fe. A solução 8 foi preparada utilizando 0,481g/2L de ferro hepta hidratado (FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O).

A solução nutritiva completa para cada pote de 4 litros, foi composta por 47,3 mL da solução 1-2-3-4-5-6 + 4,73 mL da solução 7. Porém, a solução tratamento foi composta pela décima parte da solução nutritiva contendo 4,73 mL de cada solução: 1, 2, 3, 4, 6, 8 + Al<sup>3+</sup>, sendo que, a solução 5 não foi utilizada para evitar a possível precipitação do Al<sup>3+</sup>. (Tabelas 1 e 2) (DORNELLES et al., 1997).

**Tabela 1.** Macronutrientes utilizados no preparo de soluções usadas no cultivo hidropônico de *Ricinus communis*.

Macronutrientes	Quantidade 2L
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O (nitrato de cálcio tetra hidratado)	156,8 g
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (sulfato de magnésio hepta hidratado)	81,84g
KNO <sub>3</sub> (nitrato de potássio - reagente amônio)	67,13g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (sulfato de amônio)	9,54g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (potássio fosfato monobásico)	11,29g

**Tabela 2.** Micronutrientes utilizados para produção de soluções usada em cultivo hidropônico em *Ricinus communis*.

Micronutrientes	Quantidade 2L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.10292 g
Na <sub>2</sub> Mo O <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> OKNO <sub>3</sub>	0.00402 g
NaCl	0.29134 g
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.03812g
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0.01246 g
MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	0.07404 g

Para a condução experimental, foram utilizadas sementes de dois genótipos de mamoneira (BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33). O deliamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições (1 plântula/repetição), num esquema fatorial 2 x 5 (dois genótipo e cinco doses de Al<sup>3+</sup>), observado na figura 1. Para tanto, um total de 60 sementes de cada genótipo foram desinfetados em solução de hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial) por 20 minutos e lavadas com água destilada, para retirar o excesso do produto desinfestante e semeadas em substrato inerte (areia lavada).

A semeadura foi realizada com três sementes por vaso (capacidade para 2 Kg) contendo areia lavada (substrato inerte). Inicialmente, as sementes foram irrigadas, diariamente, com água destilada por um período de 10 dias (dias após a semeadura), tempo suficiente para o desenvolvimento das plântulas.

Essas plântulas foram irrigadas por um período de 20 dias com solução nutritiva, pH entre 3,7 e 4,3, desprovida de alumínio.

Para os vasos que houve o desenvolvimento de mais de uma plântula, realizou-se o desbaste, aos 15 dias após o semeio, deixando-se apenas uma plântula por vaso.

Decorrido o período de 30 dias após a semeadura (DAS), as plantas foram irrigadas, diariamente, com a solução tratamento (solução nutritiva + Al<sup>3+</sup> nas concentrações: 0, 15, 30, 45 e 60 ppm de Al<sup>3+</sup>), por um período de 16 dias. Após as etapas descritas foram aferidos os caracteres indicativos de tolerância ao alumínio.

## 2.2 Avaliação do crescimento

A avaliação dos caracteres morfológicos indicativos de tolerância ao alumínio foi feita pela aferição de: comprimento da parte aérea (CPA), em cm, com auxílio de uma régua graduada; diâmetro do caule (DC) em cm, com uso de um paquímetro e número de folhas (NF). Para as aferições dos caracteres massa seca do caule (MSC, g), massa seca das folhas (MSF, g), massa seca das raízes (MSR, g) e a área foliar (AF, cm<sup>2</sup>), foi necessária a separação das partes de plantas (folhas, caule, raízes e discos foliares) por tratamento e genótipos. Essas amostras foram armazenadas em saco de papel devidamente identificados e postos para secar em estufa (55° C por 7 dias).

As amostras, após a completa secagem, foram pesadas em balança de precisão. E a determinação da área foliar (AF) foi realizada através da relação da massa seca dos discos foliares e a massa seca total das folhas. Para cada planta foram coletados 3 discos foliares, com auxílio de um perfurador de área conhecida.



**Figura 1.** Plantas em viveiro de mudas: submetidas a estresse por alumínio,UFRB, Cruz das almas- BA.

### 2.3 Análises Fisiológicas

As análises fisiológicas foram realizadas por meio da mensuração das variáveis: taxas de fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); concentração de  $\text{CO}_2$  na cavidade subestomática ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e a concentração de  $\text{CO}_2$  da atmosfera ( $C_a$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ). As variáveis foram mensuradas por meio de um sistema de medição de trocas gasosas portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho (Figura 2). As mensurações foram realizadas sob luz saturante, concentração de  $\text{CO}_2$ , temperatura e vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  do ambiente do local de estudo.

Todas as avaliações foram realizadas no período matutino entre 7:30 e 12:15, em folhas completamente expandidas a partir do ápice, situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados. Todas as plantas permaneceram sob as mesmas condições de exposição aos raios solares no momento das aferições. Para cada tratamento foi analisado três plantas de cada genótipo.



**Figura 2.** Sistema de medição de trocas gasosas, portátil LC-pro+ (ADC Bioscientific Ltd., England) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho.

Os resultados foram submetidos à análise de variância: médias submetidas (teste de Turkey a  $p \leq 0,05$  e a regressão foi por meio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação do crescimento

Houve diferenças significativas pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis: Massa Seca do caule (MSC) e Massa Seca da Folha (MSF) para os fatores genótipo, dose e genótipo x dose; Massa Seca da Raiz (MSR) apenas para dose; Área Foliar (AF) para dose e genótipo; Comprimento da Parte Aérea (CPA) para genótipo e interação genótipo X dose; Número de Folhas para dose e interação genótipo X dose; Diâmetro do Caule (DC) apenas para interação genótipo x dose. O resumo desses resultados pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Massa Seca da Raiz (MSR), Números de Folha (NF), Comprimento da Parte Aérea (CPA), Massa Seca da Folha (MSF), Diâmetro do Caule (DC), Massa Seca do Caule (MSC), Área Foliar (AF), em cinco concentrações de alumínio. UFRB, 2011.

Fonte de Variação	Quadrado Médio							
	GL	MSR	NF	CPA	MSF	DC	MSC	AF
Genótipo <sup>1</sup>	1	0,51(ns)	1,10 (ns)	166,34*	0,68*	0,00049(ns)	1,24*	131208*
Dose Al <sup>2</sup>	4	1,87*	12,68*	5,50(ns)	2,35*	0,0076(ns)	0,33*	158155*
Genótipo x Dose Al	4	0,22(ns)	4,57*	12,11*	0,15*	0,023*	0,29*	5047(ns)
Resíduo	30	0,20	0,27	3,72	0,04	0,005	0,03	4508
Coeficiente de Variação (%)	31	11,73	10,14	11,53	9,94	12,25	17,5	

<sup>1</sup> Genótipo = Nordestina e EBDA MPA 33.

<sup>2</sup> Dose = 0, 50, 70, 90, e 120 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>.

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

(ns) não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

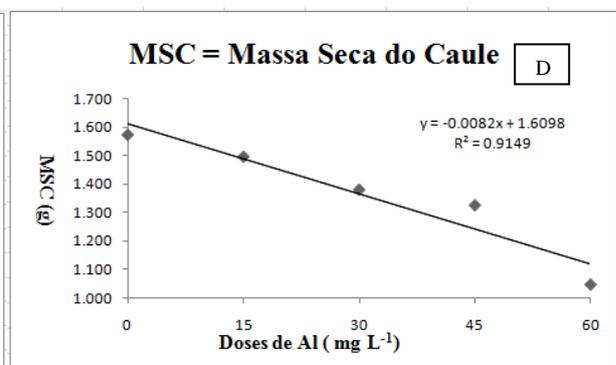
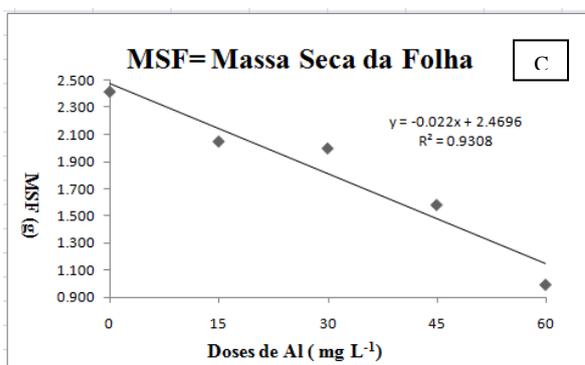
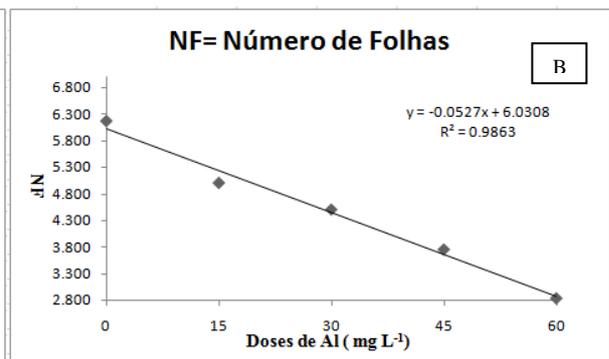
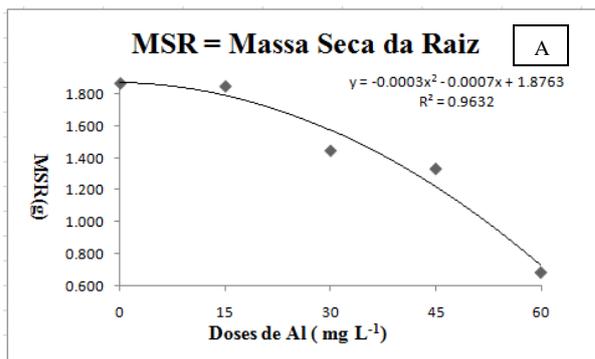
A análise de médias revelou que o genótipo BRS 129 Nordestina apresentou melhor desempenho, em comparação o genótipo EBDA MPA33, para as variáveis: NF, MSF, MSC e AF (Tabela 4).

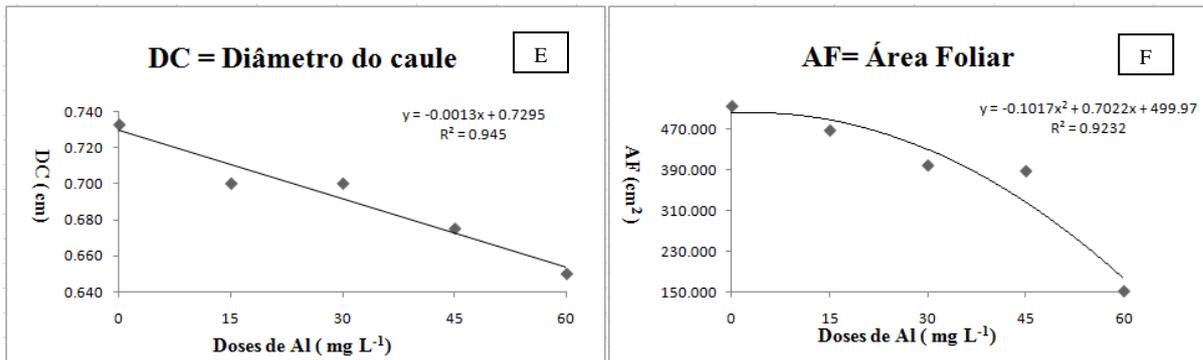
**Tabela 4.** Comparação de médias entre os genótipos BRS 129 Nordestina e EBDA MPA 33 para as variáveis NF(Números de Folhas), MSF ( Massa Seca da Folha), MSC (Massa Seca do Caule) e AF(Área Foliar).

Genótipo	Médias			
	NF	MSF	MSC	AF
BRS 129 Nordestina	21,07a	1,94a	1,54a	440,95a
EBDA MPA 33	16,99b	1,68b	1,19b	326,41b

Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Os efeitos das diferentes doses do alumínio sobre as variáveis estudadas foram avaliados através da análise de regressão (Figura 3A,B,C,D,E,F,G).





**Figuras 3.** Equações de regressão para as variáveis: A- Massa Seca da Raíz (MSR)), B-Números de Folha (NF) e C – Massa Seca do Caule ( MSC), D- Massa Seca da Folha (MSF), E- Diâmetro do caule ( DC) e F- Área Foliar (AF) respectivamente, avaliados em dois genótipos de mamoneira, aos 47 após a semeadura, em função de distintas doses de Al (0, 15, 30, 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>).

Na figura 3 pode-se observar um decréscimo nos valores estimados para as variáveis estudadas (MSR, NF, MSC, MSF, DC, e AF) com relação às concentrações crescentes de alumínio.

A variável CPA apresentou um comportamento diferenciado das demais variáveis. A CPA apresentou um aumento entre as doses de 0,0 e 15,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> seguida de uma diminuição nas doses de 30, 45 e 60 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>. Este comportamento contradiz o encontrado na natureza, pois o modelo matemático que melhor se ajustou não contém um sentido biológico, além de apresentar R<sup>2</sup> menor que 70%, devido este fato os dados não foram apresentados na forma de gráfico.

Os valores da MSR estimados para as doses de 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> de Al foram de 1,876g e 0,684g, respectivamente. Uma redução de 174% na massa seca da raiz entre o controle e a dose de 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>.

Um acentuado decréscimo na matéria seca da raiz foi observado em nove genótipos de cafeeiro submetidos a alumínio em solução nutritiva. Esse decréscimo variou de 15% a 47% entre o controle e os tratamentos (BRACCINI et al., 1988). Resultados semelhantes foram observados em maracujá. Houve um decréscimo de 50% na matéria seca das raízes, na dose de 5 mg L<sup>-1</sup> de Al em solução nutritiva (MENDONÇA et al., 1999).

No NF as plantas tiveram uma média de 6 e 3 folhas por planta, nas doses de 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, respectivamente, uma redução de 100%. Resultado semelhante foi obtido por Santos et al. (2010) em estudo com rúcula. Os autores observaram uma diferença de 43% no NF entre o controle e o tratamento (60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>).

A MSC teve uma redução de 51% entre as doses de 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>. Os valores da MSC estimados foram de 1,5793 e 1,045 g para 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, respectivamente. Em estudos com mudas de goiabeira, Salvador et al. (2000) observaram que as doses de 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> de Al proporcionaram maiores valores para MSC, enquanto as doses de 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> mostraram uma redução aproximada de 40% em relação à testemunha. Mendonça et al. (1999) observaram que a redução no peso da massa seca da parte aérea de maracujazeiro foi altamente significativa quando as plantas foram submetidas a concentrações crescentes de Al e que nas concentrações de 15, 30 e 45 mg L<sup>-1</sup> foram apresentados os menores valores.

Os valores da MSF estimados foram de 2,415g e 0,995g para as dose de 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse resultado mostra que houve uma redução de 143% na MSF. Estudos com goiabeira, mostraram que o peso da massa seca das folhas foi superior na dose de 5 mg L<sup>-1</sup>, seguida de uma redução significativa a partir de 15 mg L<sup>-1</sup>. O peso médio da massa seca desse segmento atingiu a metade do obtido pelo tratamento-testemunha (SALVADOR et al., 2000).

A variável DC teve valores estimados de 0,7313 cm e 0,650 cm para as doses de 0,0 e 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, respectivamente, uma redução de 12,5%.

A maior redução foi da variável AF com 247%. Na dose de 0,0 o valor estimado foi de 520,45cm<sup>2</sup> enquanto que na dose de 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup> foi de 150,17cm<sup>2</sup>. Em estudos com goiabeira, o valor estimado de AF para a testemunha foi significativamente menor do que os das plantas submetidas a 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> de Al, porém, superior àqueles encontrados nas plantas submetidas às doses de 20 e 25 mg L<sup>-1</sup> (SALVADOR et al., 2000). Já em maracujazeiro, foi observado que doses de alumínio maiores de 5 mg L<sup>-1</sup> apresentaram reduções de mais de 50% e que as doses de 15, 30, 45 mg L<sup>-1</sup> pouco diferiram entre si.

O CPA apresentou valores de 19,04 e 18,37 cm para o controle e a dose de 60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>, respectivamente, uma redução de 3%. Lima et al. (2007) observaram uma redução de 58% na altura de duas cultivares de mamoneira (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu) submetidas ao metal alumínio.

A redução na altura das plantas em presença do Al, pode estar associada a limitação da planta na absorção de nutrientes e também, na interferência da aquisição e no metabolismo nitrogenado. Pois, há uma diminuição na absorção e redução do nitrato em raízes, quando o Al se encontra em níveis tóxicos, segundo

(CAMBRAIA, 1989). Além disso, a absorção e o transporte de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn para a parte aérea podem estar reduzidos. A redução de Ca e Mg deve-se a uma inibição interiônica desses cátions pelo alumínio (SALVADOR et al., 2000).

### 3.2 Análises Fisiológicas

A análise de variância revelou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) apenas para o fator dose para as variáveis: Fotossíntese líquida (A), Condutância Estomática (GS), Transpiração (E), Razão entre a Concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo e na Atmosfera (CI/CA). O resumo desses resultados pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para as variáveis: Fotossíntese líquida (A), Condutância Estomática (GS), Transpiração (E), Razão entre a Concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo e na Atmosfera (CICA). UFRB, 2011.

Fonte de Variação	Quadrado Médio				
	GL	A	GS	E	CICA
Genótipo <sup>1</sup>	1	1,90(ns)	0,004 (ns)	0,92( ns)	0,0009(ns)
Dose Al <sup>2</sup>	4	289,57*	0,06*	19,68*	0,50*
Genótipo x Dose Al	4	27,15(ns)	0,003 ns)	1,34( ns)	0,005( ns)
Resíduo	20	28,72	0,016	2,24	0,09
Coeficiente de Variação (%)		80,95	114,92	68,93	36,35

<sup>1</sup> Genótipo = Nordeste e EBDA MPA 33.

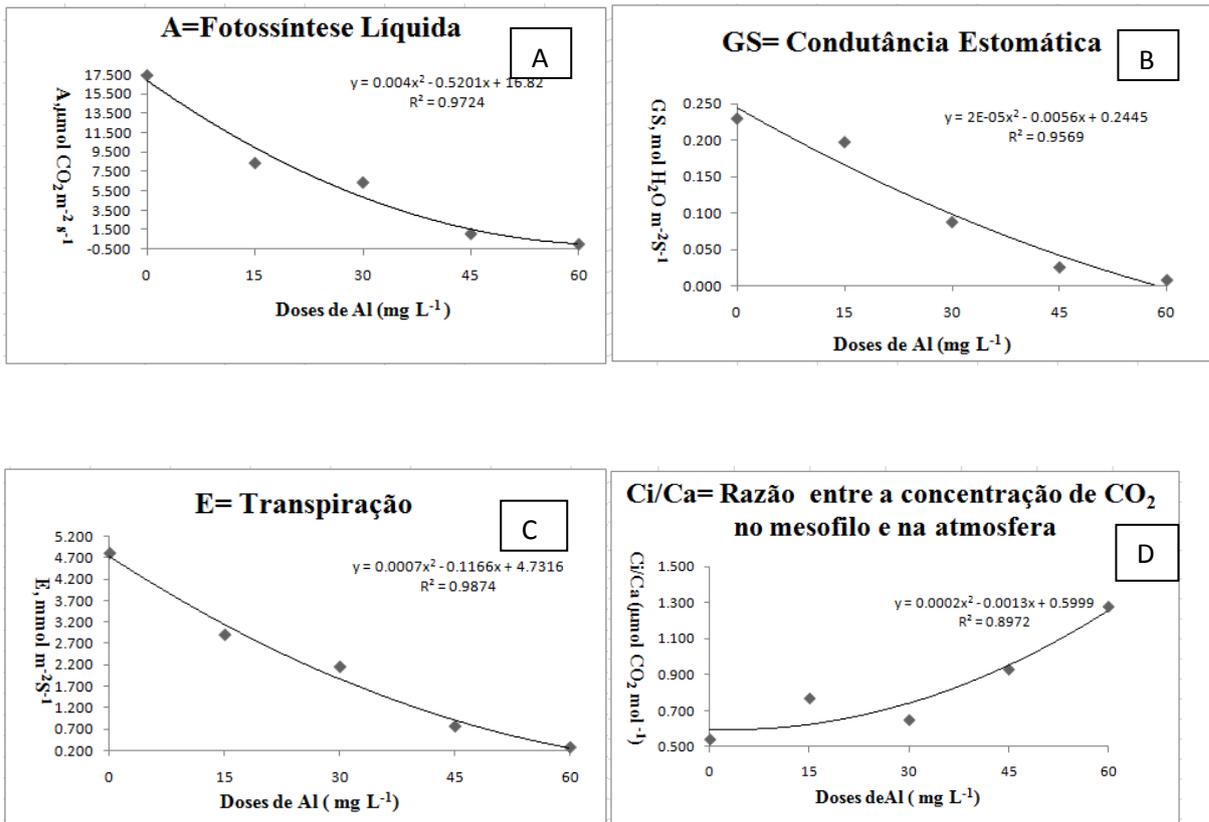
<sup>2</sup> Dose = 0, 50, 70, 90, e 120 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>+3</sup>.

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

(ns) não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

Para as variáveis fotossíntese líquida (A), condutância estomática (GS) e a Transpiração (E) foi observado decréscimo a medida que se aumentava a dose de alumínio (Figura 4A-C).

Para a variável concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo e na atmosfera (CI/CA) observou-se um aumento em função da elevação da dose de alumínio (Figura 5D). A equação de regressão foi ajustada para o modelo polinomial de segundo grau, ( $\hat{Y} = 0.0002x^2 - 0.0013x + 0.5999$ ,  $R^2 = 0.8972$ )



**Figura 4.** Equações de regressão para as variáveis: A- Fotossíntese Líquida (A), B- Condutância Estomática (GS), C – Transpiração (E), D- Razão entre a concentração de CO<sub>2</sub> no mesofilo e na atmosfera (Ci/Ca), respectivamente, avaliados em dois genótipos de mamoneira, aos 47 dias após a semeadura, em função de distintas doses de Al (0, 15, 30, 45 e 60 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>).

Os valores estimados de A foram 16,82  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (0,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>) e – 0,007 (60,0 mg Al<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>). Esses resultados apontam que na concentração máxima de alumínio não ocorreu assimilação de carbono. Fato que indica a realização de respiração, pela planta, ao invés de fotossíntese.

O mesmo foi observado por Konrad et al.(2005). Os pesquisadores observaram uma queda significativa no valor da fotossíntese líquida em cafeeiro submetido ao estresse com Al. Para citros, também, foi observada uma drástica redução da taxa fotossintética na concentração de 0,4mol L<sup>-1</sup> em relação ao controle. (PEREIRA et al., 2000).

Em plantas, a queda da fotossíntese líquida, sob estresse de Al, pode estar associada ao metabolismo fotossintético (limitação bioquímica) e ao transporte eletrônico (limitação fotoquímica) (LINDON et al., 1999; PEREIRA et al., 2000).

O Alumínio pode causar injúrias nas membranas dos tilacóide afetando então a formação e função dos cloroplastos (MOUSTAKAS et al., 1996), e

consequentemente o transporte de elétrons ( PEREIRA et al., 2000; PEIXOTO et al., 2002) Assim, o alumínio interfere de forma direta na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e acarreta, significativamente, uma redução na fotossíntese líquida da planta.

Para a variável GS os valores estimados foram de 0, 2445  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{S}^{-1}$  (0,0  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ) e 0,007 ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{S}^{-1}$  (60,0  $\text{mg Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ). Em estudos com cafeeiro foi observada uma redução em GS em função do aumento da dose de alumínio (concentrações entre 0 e 0,148  $\text{mmol L}^{-1}$ ) ( KONRAD et al., 2005).

Em algumas espécies, a exemplo de citros, sorgo e trigo, a toxidez do Al causou uma queda na condutância estomática e nas reações bioquímicas de fixação de  $\text{CO}_2$  (LINDON et al., 1999; PEREIRA et al., 2000; AKAYA e TAKENAKA, 2001; PEIXOTO et al., 2002).

Na variável E, os valores estimados foram de 4,7316  $\text{mmol m}^{-2}\text{S}^{-1}$  (0,0  $\text{mg Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ) e 0,262  $\text{mmol m}^{-2}\text{S}^{-1}$  (60,0  $\text{mg Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ). O decréscimo no valor da transpiração em função do aumento a dose de Al, pode ser explicado devido a baixa condutância estomática.

Para a variável CI/CA os valores estimados foram de 0,5999  $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$  (0,0  $\text{mg Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ) e 1,280  $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$  (60,0  $\text{mg Al}^{3+} \text{L}^{-1}$ ), um aumento de 147% para o tratamento quando comparado com o controle.

#### **4. CONCLUSÃO**

A presença do alumínio tóxico interferiu no crescimento e no desempenho fisiológico dos genótipos de mamoneira, as quais apresentaram anormalidades típicas de injúria provocada por este metal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAYA, M.; TAKENAKA, C. Effects of aluminum stress on photosynthesis of *Quercus glauca* Thunb. **Plant and Soil**, London, v.237, p.137-146, 2001.
- ANGHINONI, I; MEURER, E. J. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. In: Bissani, C. A.; Gianello, C.; Tedesco, M. J.; Camargo, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.33-42.
- BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.923-928, 2001.
- 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 Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Ciência do Solo**, 22:435-442, 1998.
- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância a toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., Piracicaba, 1989. Anais. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p.85-92.
- CASTILHOS, G. **Estresse Oxidativo em Resposta ao Alumínio em Aveia Branca**. Tese (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre -RS, 2010.94p.
- DORNELLES, A. L. C.; CARVALHO, F. I. F.; FEDERIZZI, L. C. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, 1997.
- ECHART, C.L; CAVLLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismos de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531, 2001.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.
- KONRAD, M. L. F., SILVA, J. A. B., FURLANI, P. R., MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, V. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.
- 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. **Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n.1, p.15-21, 2007.

LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZZETA, J. O.; SAMPAIO, L. R.; LEÃO, A. B.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, M. A. de O.; SILVA, L. V. B. D. **Tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio.** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. Anais...Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007. Disponível também em CD. **Biblioteca(s): CNPA (PL 662.669-C749 UPC); CNPA (PL 662.669-C749 UPC).**

LINDON, F. C., RAMALHO, J. C., BARREIRO, M.G., LAURIANO, J. Modulation of photosystem 2 reactions mediated by aluminium toxicity. In **Zea mays. Photosynthetica**, V.34, p. 151 a 156, 1997.

LOREN-PLUSINKCA, G.; ZIEGLER, H. Changes in ATP levels in Scot pine needles during aluminium stress. **Photosynthetica**, 32: 141-144, 1996.

MENDONÇA, R. M. N.; COELHO, A. F. S.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Resposta de mudas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) cultivadas em solução nutritiva, a diferentes níveis de alumínio. **Ceres**. Lavras, v.46, n. 266, p.357-370, 1999.

MENDONÇA, J. R., CAMBRAIA, J., OLIVEIRA, A. J. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.7, p.843-848, 2003.

MOUSTAKA, M; OUZOUNIDOU, G.; LANNOYER, R. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant and non-tolerant wheat cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, p.669-683, 1995.

MOUSTAKA, M; OUZOUNIDOU, G.; LANNOYER, R. Indirect effects of aluminum stress on function of the photosynthetic apparatus. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.34, p.553-569, 1996.

MOUSTAKAS, M., ELEFTHERIOU, E. P., OUZOUNIDOU, G. Short-term effects of aluminium stress at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. **Photosynthetica**, V.34, p. 169 a 177, 1997.

PASSOS, A. R., Silva, S. A., Carvalho, F. I. F. de, Hartwig, I., Crestani, M., Cançado, E. S. **Tolerância de cultivares de mamoneira à toxicidade de alumínio em solução.** III Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Ricinóquímica. 2008.

PEREIRA, W.E.; SIQUEIRA, D.L.; MARTINEZ, C.A.; PUIATTI, M. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. **Journal of Plant Physiology**, v.157, p.513-520, 2000.

PEIXOTO, P. H. P., DAMATTA, F.M., CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminium stress in two sorghum cultivars. **Journal of plant Nutrition**, New York, V.25, p.821-832, 2002.

PORTALUPPI, R. **Caracterização molecular e estudo da variabilidade genética em cereais de inverno quanto a tolerância do alumínio tóxico.** Tese (Mestrado em Produção Vegetal). Passo Fundo. Passo Fundo, 2008.123p.

RIBEIRO, M. F. **Micropropagação e estresse oxidativo de pereira e marmeleiro cultivados em meio contendo alumínio.** Tese ( Mestrado em Fisiologia Vegetal). Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS, 2010.87p.

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

SANTOS, C.A.C.dos; ALMEIDA, J. de; SANTOS, A.R. dos; VIEIRA, E.L.; PEIXOTO, C.P. Rúcula em cultivo hidropônico submetida a diferentes concentrações de alumínio. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 905-912, Nov./Dec. 2010

TABALDI, L. A. **Avaliação Bioquímica-Fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio.** Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, Brasil.2008. 192p.