

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Nutrição e Adubação do Pinhão Manso e Crambe**

**Fabiano Barbosa de Souza Prates**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO PINHÃO MANSO E CRAMBE**

**FABIANO BARBOSA DE SOUZA PRATES**

*Sob a orientação do Professor*  
**Everaldo Zonta**

*e Coorientação do Professor*  
**Eduardo Lima**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2014

634.9751

P912n

T

Prates, Fabiano Barbosa de Souza, 1984-

Nutrição e adubação do pinhão manso e crambe / Fabiano Barbosa de Souza Prates – 2014.

155 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 124-155.

1. Pinhão-manso – Teses. 2. *Crambe abyssinica* – Teses. 3. Plantas – Nutrição – Teses. 4. Minerais na nutrição – Teses. 5. Biodiesel – Teses. 6. Calagem dos solos – Teses. 7. Resíduos agrícolas – Teses. 8. Alumínio – Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

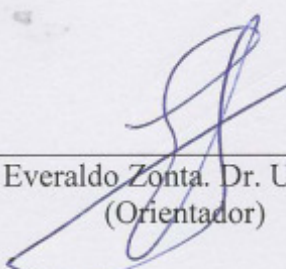
É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

FABIANO BARBOSA DE SOUZA PRATES

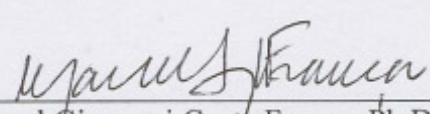
Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 27/02/2014.



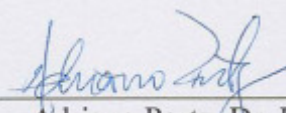
---

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ  
(Orientador)



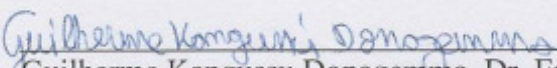
---

Marcel Giovanni Costa França. Ph.D. UFMG



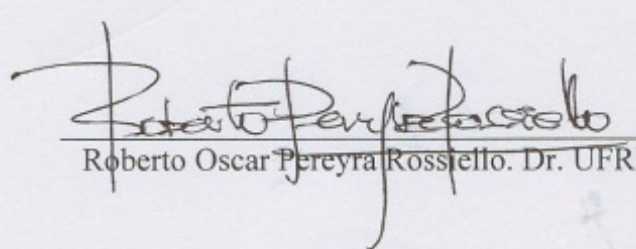
---

Adriano Portz. Dr. UFF



---

Guilherme Kangussu Donagenima. Dr. Embrapa Solos



---

Roberto Oscar Pereyra Rossello. Dr. UFRRJ

*A meus pais, Manoel Prates e Vera Lúcia.  
A meus irmãos, Roniel e Thaís.  
E aos meus familiares e amigos.*

*Dedico*

*“O exercício das nossas perplexidades é fundamental para identificar os desafios a que merece a pena responder. Afinal, todas as perplexidades e desafios resumem-se numa só: em condições de aceleração da história como as que hoje é possível por a realidade no seu lugar sem correr o risco de criar conceitos e teorias fora do lugar?”*  
(B. S. Boaventura, 1995)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus,

A meus pais e irmãos,

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS),

Ao professor Everaldo Zonta a orientação, a dedicação e a amizade,

À pesquisadora Heloísa Mattana Saturnino, ao professor Regynaldo Arruda Sampaio e ao Geraldo Zuba a colaboração e amizade,

A Rafaela e aos amigos Dani, Anderson Ferrari, Adriana e Guedes, Beth, Anderson Diniz, Juliano, Fábio, Rosimar, Glaucio, Elisa, Léo, “Chôca” e todo o pessoal do LSP a colaboração na execução deste trabalho,

À Lú e cia. Ltda. pela amizade, por sempre estarem juntos nessa caminhada,

Aos demais colegas do CPGA-CS,

Aos professores e aos funcionários do CPGA-CS e Departamento de Solos/IA/UFRRJ,

A CAPES/Petrobras/Embrapa Solos, o auxílio financeiro (bolsa e pesquisa) pelo doutorado,

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse concluído,

Muito obrigado!

## **BIOGRAFIA**

Fabiano Barbosa de Souza Prates, nascido no dia 05 de maio de 1984, em Poços de Caldas, no Estado de Minas Gerais, filho de Vera Lúcia de Sousa Prates e Manoel Barbosa Prates. Ingressou na Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG no 1º semestre de 2003 no curso de Agronomia, onde graduou-se em janeiro de 2008. Foi bolsista de iniciação científica no período de julho de 2006 a junho de 2007, no laboratório de Análise e Reaproveitamento de Resíduos na Agricultura. Em março de 2008 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agroecologia (UFMG), concluindo o mestrado em janeiro de 2010. Em março de 2008 ingressou no Doutorado em Agronomia Ciência do Solo.



## RESUMO GERAL

PRATES, Fabiano Barbosa de Souza. **Nutrição e adubação do pinhão manso e crambe**. 2014. 138f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Para elucidar sobre algumas oleaginosas que apresentam potencial para produção de biodiesel no Estado do Rio de Janeiro, essa tese apresenta, na forma de capítulos, resultados sobre nutrição mineral e produção do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e do crambe (*Crambe abyssinica* H.) onde, no capítulo 1, intitulado “*Acúmulo de nutrientes, avaliação do estágio nutricional e exportação de nutrientes em plantas de pinhão manso num Planossolo Háplico*”, concluiu-se que o pinhão manso apresenta a seguinte ordem em relação aos teores de nutrientes:  $N > Mg > Ca > K \geq P$ . O caule e a folha são os órgãos que apresentam os maiores teores de nutrientes. Em relação aos micronutrientes, considerando apenas a parte aérea, ou seja, caule, folhas e frutos, os teores ficaram na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ . Ao considerar a raiz, essa ordem fica modificada nos dois primeiros micronutrientes, passando então o Fe na primeira colocação seguida pelo Mn. O pinhão manso, com dois anos de transplante, acumula macronutrientes na seguinte ordem:  $Mg > Ca > N > P \geq K$ . Para os micronutrientes, a ordem de acúmulo fica na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ . Para diagnosticar o estágio nutricional de plantas de pinhão manso, quanto a N, P, K, Ca, Cu, Zn e Fe, as folhas colhidas na posição 3 são mais adequadas. Para os nutrientes Mg e Mn é mais apropriado amostrar folhas da posição 7. O ramo com inflorescência é o mais indicado para retirar as folhas para diagnose nutricional de plantas de pinhão manso. Em relação à exportação de nutrientes pelos frutos de pinhão manso, as sementes apresentaram maior exportação para os nutrientes N, P, Cu e Zn, já as cascas apresentaram maior exportação de K, Ca, Mg, Mn e Fe. No capítulo 2, que teve como título “*Desenvolvimento inicial do pinhão manso em função de diferentes formas de correção do solo*”, concluiu-se que os melhores métodos para correção da acidez do solo para a cultura do pinhão manso são elevação da saturação por bases para 50% e neutralização do alumínio. A gessagem se mostrou eficiente e pode ser também recomendada quando o solo apresentar baixos teores de Ca e Mg em profundidade no solo. No capítulo 3, intitulado “*Resposta de diferentes acessos de pinhão manso ao efeito tóxico do alumínio sob cultivo hidropônico*”, concluiu-se que o incremento das doses de Al reduziu o comprimento das raízes, número de folhas e altura das plantas para os acessos de pinhão manso CNPAE-170, CNPAE-190, UFRRJ-346 e UFRRJ-858. O incremento das doses de  $Al^{3+}$  na solução nutritiva promoveu redução nos teores e acúmulos de nutrientes em todos os acessos de pinhão manso. No capítulo 4, intitulado “*Acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito*”, concluiu-se que a aplicação de silicato de serpentinito sem enxofre aumentou os teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg do crambe e a produção de sementes. De modo geral, a dose de  $8 \text{ t ha}^{-1}$  foi a mais indicada para a fertilização da cultura do crambe. No capítulo 5, intitulado “*Uso de diferentes tortas de oleaginosas para disponibilização de nutrientes no desenvolvimento da cultura do crambe*”, concluiu-se que de acordo com os teores de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas de crambe, foi observada a seguinte ordem:  $K > N \geq Ca > P > Mg$ . A aplicação de tortas de oleaginosas associada à incubação do solo aumenta os teores de nutrientes no solo em comparação ao solo não incubado.

**Palavras-chave:** Biodiesel. *Jatropha curcas* L.. *Crambe abyssinica* H.. Nutrição mineral de plantas

## GENERAL ABSTRACT

PRATES, Fabiano Barbosa de Souza. **Nutrition and fertilization of *Jatropha curcas* L. and *Crambe abyssinica* H.** 2014. 138f. Thesis (Doctor in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

To elucidate about some oilseeds that have potential for biodiesel production, in the State of Rio de Janeiro, this thesis presents, in the form of chapters, results of mineral nutrition and production of physic nut (*Jatropha curcas* L.) and crambe (*Crambe abyssinica* H.). In the Chapter 1, entitled "*Accumulation of nutrients, assessment of nutritional stadium and exportation of nutrients in plants of physic nut in a Fragiudult soil*", it was concluded that physic nut has the following order in relation to nutrient content: N>Mg>Ca>K>P. The stem and leaf are the organs that have the highest nutrient content. Regarding micronutrients in the aerial part, i.e., stem, leaves and fruits, the levels were in the following order: Mn>Fe>Zn>Cu. When considering the root, this sequence is modified in the first two micronutrients, where Fe is in the first position followed by the Mn. The physic nut plant, with two years of transplanting accumulates macronutrients in the following order: Mg>Ca>N>P>K. For the micronutrients, the accumulation order is as following: Mn>Fe>Zn>Cu. The leaves harvested at position 3 are more appropriate to diagnose the nutritional level of physic nut plants, related to N, P, K, Ca, Cu, Zn and Fe nutrients. For Mg and Mn it is more appropriate nutrients to sample leaves at position 7. The branch with inflorescence is the most suitable for removing the leaves of plants for nutritional diagnosis of physic nut. Regarding the exportation of nutrients in the fruits of physic nut, the seeds showed higher exports for the nutrients N, P, Cu and Zn, since the shells had higher export of K, Ca, Mg, Mn and Fe. In the Chapter 2, which was titled "*Initial development of physic nut as a function of different forms of soil amendment*", it was concluded that best methods for correction of soil acidity for the cultivation of physic nut are the base saturation rising up to 50% and neutralization of aluminum. The gypsum is efficient and can also be recommended when the soil has a low Ca and Mg level with depth. In Chapter 3, entitled "*Response of different accessions of physic nut to the toxic effects of aluminum cultivated in hydroponics*", it was found that increasing the levels of Al reduced the root length, number of leaves and plant height for the accessions of physic nut CNPAE-170, CNPAE-190, UFRRJ-346 and UFRRJ-858. The increasing levels of Al<sup>3+</sup> in the nutrient solution induced a reduction in the levels and accumulation of nutrients in all accessions of physic nut. In Chapter 4, entitled "*Accumulation of nutrients and yield of crambe as a function of fertilization with castor cake and serpentinite*", it was concluded that the application of serpentinite silicate without sulfur increased the contents and accumulation of N, P, K, Ca and Mg and the crambe seed production. The use of castor bean PDS as organic fertilizer increased the growth and development of crambe. In general, the dose of 8 ton ha<sup>-1</sup> was the most suitable for the fertilization of the crambe crop. In Chapter 5, entitled "*Use of different oilseeds pies for providing nutrients to the crambe crop* ", it was concluded that, according to the amount of nutrients in the aerial part and in the roots of crambe plants, the following order was observed: K>N>Ca>P>Mg. The application of oil cakes associated with incubation of the soil increases the nutrient content in the soil, when compared to the soil not incubated.

**Keywords:** Biofuel. *Jatropha curcas* L.. *Crambe abyssinica* H.. Mineral nutrition of plants.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características de algumas culturas oleaginosas com potencial energético. ....	3
<b>Tabela 2.</b> Propriedades físico químicas de biodiesel.....	6
<b>Tabela 3.</b> Características químicas e granulometria do Planosso Háplico da área experimental. ....	15
<b>Tabela 4.</b> Atributos químicos e granulometria do Planossolo Háplico. ....	17
<b>Tabela 5.</b> Resultados de análises químicas do solo das coletas durante o período do experimento. ....	19
<b>Tabela 6.</b> Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) em plantas de pinhão manso avaliadas durante 24 meses. ....	23
<b>Tabela 7.</b> Teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) determinados no tecido foliar de plantas de pinhão manso colhidos em folhas coletadas das posições (3 <sup>a</sup> e 7 <sup>a</sup> ) de ramos vegetativos (RV) e frutíferos (RF). ....	35
<b>Tabela 8.</b> Teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) determinados no tecido foliar de plantas de pinhão manso colhidos em folhas coletadas das posições (3 <sup>a</sup> e 7 <sup>a</sup> ) de ramos vegetativos (RV) e frutíferos (RF). ....	35
<b>Tabela 9.</b> Teores de nutrientes determinados nas cascas e sementes dos frutos de plantas de pinhão manso.....	38
<b>Tabela 10.</b> Atributos químicos do Cambissolo Háplico de Pinheral - RJ. ....	46
<b>Tabela 11.</b> Média dos valores de massa seca do caule, massa seca da folha, massa seca da raiz, volume de raiz por volume de solo, comprimento da raiz, volume da raiz, diâmetro do caule e altura das plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de correção do solo e adubação. ....	50
<b>Tabela 12.</b> Teores médios de nitrogênio na raiz (NR), no caule (NCA) e na folha (NFO); fósforo na raiz (PR), no caule (PCA) e na folha (PFO); potássio na raiz (KR), no caule (KCA) e na folha (KFO) em plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de correção do solo e adubação. ....	53
<b>Tabela 13.</b> Valores de alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ), cálcio (Ca) e magnésio Mg) trocáveis, e pH do solo após coleta das plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de adubação e aplicação de N-P-K.....	55
<b>Tabela 14.</b> Média de ganho nos valores de comprimento linear da raiz, diâmetro do caule, número de folhas e altura da planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	65
<b>Tabela 15.</b> Ajustes de regressão para ganho nos valores de comprimento linear da raiz (CR), diâmetro do caule (D. Caule), número de folhas (NF) e altura da planta (Alt. Planta) de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	67
<b>Tabela 16.</b> Média dos valores de massa da matéria seca em gramas de raiz, caule, pecíolo, folha e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	69
<b>Tabela 17.</b> Ajustes de regressão para massa da matéria seca de folha, pecíolo, caule, raiz e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	70
<b>Tabela 18.</b> Média dos valores dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total) e área foliar da planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	71

<b>Tabela 19.</b> Ajustes de regressão para massa seca de folha, pecíolo, caule, raiz e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	73
<b>Tabela 20.</b> Média dos teores de nutrientes e Al na folha de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	75
<b>Tabela 21.</b> Média dos teores de nutrientes e Al no pecíolo de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	78
<b>Tabela 22.</b> Média dos teores de nutrientes e Al no caule de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	80
<b>Tabela 23.</b> Média dos teores de nutrientes e Al na raiz de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	82
<b>Tabela 24.</b> Média dos valores de nutrientes acumulados na folha dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	83
<b>Tabela 25.</b> Média dos valores de nutrientes acumulados no pecíolo dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	84
<b>Tabela 26.</b> Média dos valores de nutrientes acumulados no caule dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	85
<b>Tabela 27.</b> Média dos valores de nutrientes acumulados na raiz dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	86
<b>Tabela 28.</b> Média dos nutrientes acumulados em diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	87
<b>Tabela 29.</b> Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	88
<b>Tabela 30.</b> Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	88
<b>Tabela 31.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	89
<b>Tabela 32.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	89
<b>Tabela 33.</b> Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	91
<b>Tabela 34.</b> Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	91
<b>Tabela 35.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	92
<b>Tabela 36.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	92
<b>Tabela 37.</b> Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	93
<b>Tabela 38.</b> Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	94
<b>Tabela 39.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	94
<b>Tabela 40.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	95
<b>Tabela 41.</b> Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	96
<b>Tabela 42.</b> Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	96

<b>Tabela 43.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	97
<b>Tabela 44.</b> Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. ....	97
<b>Tabela 45.</b> Massa seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e da semente (MSSem) do crambe, adubado com torta de mamona e silicato de serpentinito com e sem enxofre. ....	106
<b>Tabela 46.</b> Médias do teor de N na raiz (NR), do conteúdo de N na raiz (NTR), no teor de N na parte aérea (NPa), no conteúdo de N na parte aérea (NTPa), no teor de N na semente (NSem) e no conteúdo de N na semente (NTSem); teor de P na raiz (PR), conteúdo de P na parte aérea (PPa), teor de P na semente (PSem) e conteúdo de P na semente (PTSem); teor de K na raiz (KR), conteúdo de K na raiz (KTR), teor de K na parte aérea (KPa), conteúdo de K na parte aérea (KTPa), teor de K na semente (KSem) e conteúdo de K na semente (KTSem); teor de Ca na raiz (CaR), conteúdo de Ca na raiz (CaTR), teor de Ca na parte aérea (CaPa), conteúdo de Ca na parte aérea (CaTPa), teor de Ca na semente (CaSem) e conteúdo de Ca na semente (CaTSem); teor de Mg na raiz (MgR), conteúdo de Mg na raiz (MgTR), teor de Mg na parte aérea (MgPa), conteúdo de Mg na parte aérea (MgTPa), teor de Mg na semente (MgSem) e conteúdo de Mg na semente (MgTSem) de crambe, adubado com torta de mamona e silicato de serpentinito com e sem enxofre. ....	107
<b>Tabela 47.</b> Quadro de equações ajustadas das variáveis analisadas em crambe adubado com torta de mamona. ....	108
<b>Tabela 48.</b> Caracterização química de tortas de oleaginosas. ....	116
<b>Tabela 49.</b> Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz do crambe em função da adubação das tortas de pinhão manso (TPM), girassol (TGir) e mamona (TMam) na cultura do crambe. ....	118
<b>Tabela 50.</b> Média dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea e raiz do crambe em função da adubação de torta de pinhão manso (TPM), torta de girassol (TGir) e torta de mamona (TMam) num Planossolo Háplico. ....	119
<b>Tabela 51.</b> Valores da análise de rotina do solo em função da adubação das tortas de pinhão manso (TPM), girassol (TGir) e mamona (TMam) na cultura do crambe. ....	121

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima durante o período do experimento de acúmulo de nutrientes em pinhão manso na cidade de Seropédica-RJ. Fonte: Inmet estação de Seropédica/RJ. .... 16
- Figura 2.** Dados de precipitação e temperaturas médias máxima e mínima (A), e radiação (B), durante o período da avaliação do experimento..... 17
- Figura 3.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), manganês (G), zinco (H) e ferro (I) em função do tempo nas raízes de pinhão manso..... 21
- Figura 5.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) em função do tempo nas folhas de pinhão manso..... 22
- Figura 6.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) em função do tempo nos frutos de pinhão manso..... 23
- Figura 7.** Distribuição percentual de nutrientes em plantas de pinhão manso para Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Cálcio (D) e Magnésio (E) em g planta<sup>-1</sup>. .... 25
- Figura 8.** Distribuição percentual de nutrientes em plantas de pinhão manso para Cobre (A), Manganês (B), Zinco (C) e Ferro (D) em mg planta<sup>-1</sup> ..... 26
- Figura 9.** Curva ilustrativa do crescimento sigmoidal de uma planta (Adaptado de Peixoto et al., 2011)..... 27
- Figura 10.** Número de ramos (A), altura de planta (B), peso seco de planta (C), peso seco de raiz (D), peso seco de caule (E) e peso seco de folhas de pinhão manso em função do tempo. \*\*\*, \*\* significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste t, respectivamente. .... 28
- Figura 11.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) nas raízes de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t..... 30
- Figura 12.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), magnésio (D), cobre (E), manganês (F) e zinco (G) no caule de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t..... 31
- Figura 13.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cobre (D), manganês (E), zinco (F) e ferro (G) nas folhas de pinhão manso. \*\*\*, \*\*, ° significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. .... 32
- Figura 14.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) nas plantas de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t..... 33
- Figura 15.** Valores de diâmetro do caule (A); altura da planta (B); peso de sementes por planta (C); peso de casca dos frutos por planta (D); relação casca/fruto (E); relação sementes/fruto (F); e número de inflorescência por planta (G), das plantas de pinhão manso coletados durante o período de produção de dezembro de 2011 a junho de 2012. \*Barra de erro padrão da média dos dados..... 34
- Figura 16.** Acúmulo de nitrogênio (A); fósforo (B); potássio (C); cálcio (D); magnésio (E); cobre (F); manganês (G); zinco (H) e ferro (I) nas cascas dos frutos de pinhão manso coletadas durante o período de produção de janeiro a junho de 2012. \*Barra de erro padrão da média dos dados. .... 38
- Figura 17.** Acúmulo de nitrogênio (A); fósforo (B); potássio (C); cálcio (D); magnésio (E); cobre (F); manganês (G); zinco (H) e ferro (I) nas sementes de pinhão manso

	coletadas durante o período de produção de janeiro a junho de 2012. *Barra de erro padrão da média dos dados.....	39
<b>Figura 18.</b>	Esquema de montagem dos vasos do experimento (A, B, C) e coleta seccionada do solo (D).....	46
<b>Figura 19.</b>	Presença de raiz de pinhão manso em profundidade no solo (cm) em função da aplicação de diferentes formas de correção do solo (V%i – Saturação por bases inicial; 50V% - saturação por bases a 50%; 75V% - saturação por bases a 75%; Al <sub>0</sub> – Neutralização total do alumínio; Al <sub>0-20</sub> – Neutralização do alumínio até 20cm de profundidade; e Al <sub>0-20+gesso</sub> – Neutralização do alumínio até os 20cm de profundidade mais aplicação de gesso) e adubação com N-P-K.....	49
<b>Figura 20.</b>	Crescimento inicial de diferentes acessos de pinhão manso em função de doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
	2.1 A Cultura do Pinhão Manso.....	3
	2.1.1 Origem do pinhão manso .....	3
	2.1.2 Características botânicas e morfológicas .....	4
	2.1.3 Aspectos de crescimento e produtivos .....	4
	2.1.4 Aspectos positivos.....	5
	2.1.5 Aspectos negativos e suas soluções .....	6
	2.1.6 Nutrição mineral.....	7
	2.2 A Cultura do Crambe .....	8
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I: ACÚMULO DE NUTRIENTES, AVALIAÇÃO DO ESTÁDIO NUTRICIONAL E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE PINHÃO MANSO NUM PLANO SOLO HÁPLICO .....</b>	<b>10</b>
	3.1 RESUMO.....	11
	3.2 ABSTRACT.....	12
	3.3 INTRODUÇÃO .....	13
	3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	15
	3.4.1 Teor e acúmulo de nutrientes em plantas de pinhão manso.....	15
	3.4.2 Exportação de nutrientes pelos frutos e estágio nutricional pela coleta de folhas .....	16
	3.4.3 Análises estatísticas.....	17
	3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
	3.5.1 Teor e acúmulo de nutrientes na planta de pinhão manso .....	18
	3.5.2 Estádio nutricional da folha e exportação de nutrientes pelos frutos.....	34
	3.4 CONCLUSÕES .....	40
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II: DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE CORREÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>41</b>
	4.1 RESUMO.....	42
	4.2 ABSTRACT.....	43
	4.3 INTRODUÇÃO .....	44
	4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	46
	4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
	4.6 CONCLUSÕES .....	57
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III: RESPOSTA DE DIFERENTES ACESSOS DE PINHÃO MANSO AO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO SOB CULTIVO HIDROPÔNICO .....</b>	<b>58</b>
	5.1 RESUMO.....	59
	5.2 ABSTRACT.....	60
	5.3 INTRODUÇÃO .....	61
	5.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	62
	5.4.1 Local e implantação do experimento .....	62
	5.4.2 Avaliações realizadas .....	62
	5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
	5.5.1 Teores de éster de forbol .....	64
	5.5.2 Biometria.....	64
	5.5.5 Pigmentos fotossintéticos.....	70
	5.5.4 Teores e acúmulo de nutrientes.....	74
	5.6 CONCLUSÕES .....	100



<b>6</b>	<b>CAPÍTULO IV: ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE CRAMBE EM FUNÇÃO DA FERTILIZAÇÃO COM TORTA DE MAMONA E SERPENTINITO .....</b>	<b>101</b>
6.1	RESUMO.....	102
6.2	ABSTRACT.....	103
6.3	INTRODUÇÃO .....	104
6.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	105
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
6.6	CONCLUSÕES .....	111
<b>7</b>	<b>CAPÍTULO V: USO DE DIFERENTES TORTAS DE OLEAGINOSAS PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO CRAMBE .....</b>	<b>112</b>
7.1	RESUMO.....	113
7.2	ABSTRACT.....	114
7.3	INTRODUÇÃO .....	115
7.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	116
7.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	118
7.6	CONCLUSÕES .....	122
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>123</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>124</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O País apresenta reais condições para se tornar um dos maiores produtores de biodiesel do planeta, por dispor de solo e clima adequados ao cultivo de oleaginosas, sem competir com áreas favoráveis ao plantio de culturas alimentícias. Segundo Miragaya, (2005), a área plantada necessária para atender ao percentual de mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é estimada em 1,5 milhões de hectares, o que equivale a 1% dos 150 milhões de hectares disponíveis para a agricultura no Brasil, não incluídas aqui as regiões ocupadas por pastagens e florestas.

Além das vantagens ambientais, o biodiesel, também gera empregos, fortalece o setor industrial, incentiva a agricultura familiar e melhora a geração e distribuição da renda, contribuindo para a erradicação da fome e para um equilíbrio do êxodo rural. A cada 1% de substituição de óleo diesel convencional por biodiesel poderá gerar cerca de 45 mil empregos no campo e uma renda anual de aproximadamente R\$ 4.900,00 por emprego, o que poderá levar a uma maior fixação do homem no campo.

Neste contexto, as regiões do médio vale do Paraíba do Sul, da baixada fluminense, e do Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro, são representativas da atividade agropecuária e/ou de produção de energia a partir de fontes renováveis no estado do Rio de Janeiro e, por isso, apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento de uma oleaginosa potencial para biodiesel que é o Pinhão Manso.

A região médio vale do Paraíba do Sul foi marcada pelo uso intensivo e extrativista do solo com a cultura do café. Assim, o mau uso deste sistema de produção, resultou na diminuição da capacidade produtiva das suas terras. Hoje, a pecuária leiteira extensiva e com baixo nível tecnológico é a atividade predominante no meio rural dessa região do estado. A região da baixada também é caracterizada por pequenas propriedades, elevada densidade demográfica e elevadas taxas de desemprego, e apresenta-se como uma das mais adequadas para a implantação das unidades de produção do biodiesel, principalmente pela facilidade de escoamento da produção. Já na região do noroeste há ocorrência de período seco marcante, com altas temperaturas durante o ano, que associado ao relevo forte ondulado, com manejo inadequado do solo através da atividade de pecuária leiteira também com baixo nível tecnológico, apresentando extensas áreas degradadas, e assim carecendo também de alternativas agrícolas sustentáveis.

Ressalta-se, ainda, que o cultivo em áreas declivosas e as práticas inadequadas de uso do solo, nestas regiões, particularmente, no médio vale do rio Paraíba do Sul e no Norte e Noroeste fluminense, em geral têm ocasionado acentuado e contínuo processo erosivo do solo, com prejuízos ambientais e claros reflexos econômicos e sociais.

O governo do estado do Rio de Janeiro possui um programa chamado Rio Agroenergia, que fomenta e norteia a produção de biomassa para biodiesel no próprio. Assim, do ponto de vista de política pública, já existem instrumentos para favorecer projetos que buscam viabilizar a utilização de oleaginosas para produção de óleo para biodiesel, desde que, estejam em acordo com a legislação ambiental federal e estadual.

Segundo Savy Filho (2005), teoricamente, qualquer oleaginosa pode vir a ser utilizada para a produção de biodiesel, porém, devem-se enumerar as vantagens de cada uma, escolhendo a melhor oleaginosa para cada região. O Programa do Governo Federal está priorizando o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de produção de oleaginosa que tenham como principais características a utilização mais intensa de mão de obra, principalmente familiar, que apresentem maior rendimento de extração óleo, baixo custo de produção, adaptabilidade da cultura às amplas condições regionais, considerando também, produtividade, custo de produção e de logística, capacidade de armazenagem, valor dos produtos, capacidade de geração de renda, nível tecnológico da cultura.

Por outro lado, no sentido de estudar alternativas de oleaginosas, para biodiesel no Estado do Rio de Janeiro, Oliveira et al. (2005) avaliaram a produção de diferentes variedades de oleaginosas: Girassol (*Helianthus annuus*), Mamona (*Ricinus communis* L.), Gergelim (*Sesamum indicum* L.) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), para diferentes regiões do estado. Esses autores concluíram que: As cultivares de mamona IAC 80, Cafelista, Al Guarany, T1 e Paraguaçu; as cultivares de girassol Hélio 251 e Hélio 250 e a cultivar de gergelim Seridó são promissoras para o Estado, sobre tudo na região norte fluminense, além disso, verificaram que a densidade de sementeira do nabo forrageiro não influenciou a sua produtividade. Esses autores concluíram que há necessidade de estudos suplementares sobre manejo das cultivares selecionadas. Contudo, analisando as produtividades obtidas observa-se que ainda não atingiram o potencial que se esperava. Nesse sentido, as pesquisas devem avançar para tornar as produtividades destas oleaginosas viáveis para produção de biodiesel.

A hipótese desse trabalho sugeriu que o conhecimento sobre a ecofisiologia de culturas oleaginosas no Rio de Janeiro irá contribuir para a implementação de programas de biocombustíveis no Estado.

Abaixo segue a relação dos capítulos dessa tese com seus respectivos objetivos:

Capítulo 1 - Acúmulo de nutrientes, avaliação do estágio nutricional e exportação de nutrientes em plantas de pinhão manso num Planossolo Háplico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o teor e o acúmulo de macro e micronutrientes nas raízes, caules, folhas e frutos, quando presentes, da planta de pinhão manso, visando subsidiar a recomendação de adubação para essa cultura no Estado do Rio de Janeiro.

Este capítulo teve como objetivo avaliar a exportação de nutrientes pelos frutos de pinhão manso e seu estágio nutricional pela coleta mensal de folhas visando diagnosticar o estado nutricional da cultura do pinhão manso.

Capítulo 2 - Desenvolvimento inicial do pinhão manso em função de diferentes formas de correção do solo.

O objetivo desse capítulo foi avaliar o desenvolvimento do pinhão manso em função de diferentes formas de correção do solo.

Capítulo 3 - Resposta de diferentes acessos de pinhão manso ao efeito tóxico do alumínio sob cultivo hidropônico.

O objetivo deste capítulo é avaliar a resposta do crescimento da parte aérea e raízes de diferentes acessos de pinhão manso, com baixo e alto teor de éster de forbol, submetido ao cultivo hidropônico com aplicação de doses crescentes de alumínio.

Capítulo 4 - Acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito.

Este capítulo teve como objetivo avaliar os teores e conteúdos de macronutrientes do crambe, assim como a sua produtividade, em função da utilização de torta de mamona PDS e silicato de serpentinito.

Capítulo 5 - Uso de diferentes tortas de oleaginosas para disponibilização de nutrientes no desenvolvimento da cultura do crambe.

Este capítulo teve como objetivo avaliar os teores e conteúdos de macronutrientes do crambe, em função da adubação com diferentes tortas de oleaginosas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A Cultura do Pinhão Manso

Analisando a Tabela 1, que descreve algumas características das principais oleaginosas produzidas no Brasil, observa-se que a cultura do pinhão manso apresenta vantagens comparativas em relação às outras oleaginosas.

**Tabela 1.** Características de algumas culturas oleaginosas com potencial energético.

Espécie	Produtividade Mg/ha	Óleo %	Ciclo de vida	Regiões produtoras	Tipo de cultura quanto a mecanização	Rendimento (Mg de óleo/ha)
Dendê	15 a 25	20	Perene	BA e PA	Intensiva MDO*	3,0 a 6,0
Girassol	1,5 a 2,0	38 a 48	Anual	GO, MS, SP, RS e PR	Mecanizada	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	Anual	Nordeste	Intensiva MDO	0,5 a 0,9
Amendoim	1,5 a 2,0	40 a 43	Anual	SP	Mecanizada	0,6 a 0,8
Soja	2,0 a 3,0	17	Anual	MT, PR, RS, GO, MS, MG, e SP.	Mecanizada	0,2 a 0,4
Algodão	0,86 a 1,4	15	Anual	MT, GO, MS, BA, MA.	Mecanizada	0,1 a 0,2
Pinhão Manso	2,0 a 12	50 a 52	Perene	Nordeste e MG	Intensiva MDO	1,0 a 6,0
Crambe**	2	38	Anual	Centro Oeste	Mecanizada	0,76

Fonte: Savy Filho, 2005, adaptado de Meirelles F.S. 2003

\*\*Adaptado de Pitol (2008)

\*Mão-de-obra

#### 2.1.1 Origem do pinhão manso

O pinhão manso tem a sua origem ainda bastante discutida. Há relatos de que o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) remonta a 70 milhões de anos, em fósseis descobertos na Belém Peruana (Saturnino et al., 2005). Já Peixoto (1973) afirma que o pinhão manso é oriundo da América do Sul, inclusive do Brasil e das Antilhas. Brasil (1985) relata que o pinhão manso é encontrado em Minas Gerais, com mais frequência no Norte do estado e no Vale do Jequitinhonha, geralmente em áreas isoladas e mais afastadas de centros urbanos. Atualmente,

o pinhão manso é conhecido e cultivado em todo o mundo, com vários nomes populares; dentre eles, pinhão-paraguaio, pinhão-de-purga (Saturnino et al., 2005).

### **2.1.2 Características botânicas e morfológicas**

O pinhão manso é um arbusto suculento e caducifólio, com ramificações desde a base, com 3 a 5 m de altura, pertencente à família Euphorbiaceae, que apresenta folhas simples, cordatas na base, 3-5 lobadas, com disposições alternadas a subopostas. As inflorescências surgem junto com as folhas novas; as flores são de cores amarelo-esverdeadas, monóicas, unissexuais e produzidas na mesma inflorescência. Os frutos são do tipo cápsula trilocular e ficam carnudos e amarelados quando maduros (Peixoto, 1973; Saturnino et al., 2005).

A semente de pinhão manso é relativamente grande e, quando seca, mede de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura. Tem tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Debaixo do involúcro da semente, há uma película branca cobrindo a amêndoa. Apresenta albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo o embrião, provido de dois largos cotilédones achatados (Peixoto, 1973).

### **2.1.3 Aspectos de crescimento e produtivos**

Pode-se obter boa multiplicação do pinhão manso, por meio de sementeiras ou por estacas. O ciclo produtivo da planta é variável, conforme se faça o plantio por estacas ou por sementes. A propagação por via seminal é mais demorada, mas esse processo possui a vantagem de gerar espécies mais robustas, normalmente de ciclo vegetativo mais longo, podendo atingir 100 anos de vida (Araujo, 2005).

O sistema de propagação em viveiros é mais adequado e deve ser recomendado, pois a planta, tendo melhores cuidados nos primeiros anos, irá adquirir maior resistência e possuir melhor conformação. As estacas utilizadas para a propagação por via vegetativa devem ser extraídas de matrizes de boa origem, de até 2 anos de idade, de galhos lenhosos, sendo que os ramos mais próximos da base são os melhores para o fornecimento de estacas, selecionadas aquelas de casca lisa e brilhante, de 40 a 50 cm de comprimento. O início do ciclo produtivo depende das dimensões da estaca plantada e das condições de tratamentos culturais realizadas, variando de 10 meses a 2 anos (Araujo, 2005).

Um cuidado que garante o sucesso no cultivo do pinhão manso é a obtenção de mudas com alto padrão de qualidade. Para isso, as mudas devem estar bem nutridas e com bom desenvolvimento radicular (Bruckner, 2001). Para essa finalidade, podem ser utilizados os substratos comerciais ou orgânicos, como os resíduos de origem animal, vegetal e agro-industrial, que, além de aumentarem a produtividade, ajudam a preservar o meio ambiente, em razão da sua reciclagem (Ribeiro et al., 1999).

A planta possui raízes curtas e perde quase completamente as folhas nos períodos de seca, de modo geral entre junho e outubro. Após as primeiras chuvas, finda-se o repouso vegetativo com o rápido surgimento da brotação e reinício do ciclo produtivo (Araujo, 2005).

Por não ser uma espécie que ainda não tem domínio tecnológico definido, este se torna o maior “gargalo” em relação ao seu cultivo, e, portanto, o seu ponto negativo. Por outro lado, há um grande esforço em andamento, com trabalhos integrados das iniciativas públicas e privadas buscando-se a compreensão e uso da genética, a adequação dos sistemas de produção, a adaptabilidade local e regional da espécie, a obtenção de distinção homogeneidade-estabilidade de cultivares comerciais, focando-se os arranjos institucionais, técnico-científicos e produtivos para a expansão competitiva do pinhão manso no Brasil e no mundo, como alternativa promissora para altos rendimentos agrícola e industrial (Achten et al., 2008; Heller, 1996).

#### 2.1.4 Aspectos positivos

Mesmo com os "gargalos" supracitados, o pinhão manso demonstra ser uma cultura com potencial para a produção de biodiesel. Uma das suas características é a grande quantidade de produção de grãos por área, o que lhe confere como uma das oleaginosas com maior potencial de produção de óleo por área, acima de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de óleo (Roscoe, 2008). Cada fruto contém três sementes, que contêm, em média, 66% de cascas e 50 a 52% de óleo, quando este é extraído a partir do uso de solventes ou 32 a 35%, quando a extração é feita a partir do aquecimento da amêndoa, trituração e moagem (Saturnino et al., 2005; Dias et al., 2007; Achten et al., 2008; Heller, 1996).

Segundo Ackon e Ertel (2005), o pinhão manso se torna uma alternativa quanto aos fatores ambientais, pois trata-se de uma cultura com o mecanismo de desenvolvimento limpo, devido ao seu óleo reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, não emitir gases de efeito estufa e conter enxofre em valores inexpressivos (não formando dióxido de enxofre que causa a chuva ácida).

Além da produção de óleo, o pinhão manso apresenta outras vantagens, como: por ser uma planta lenhosa, as suas várias partes podem ser utilizados para um número de finalidades, especialmente como combustível, varas e postes. Em alguns países, o arbusto vivo é utilizado para suportar videiras. As abelhas polinizam suas flores, assim é possível ter apiários em associação com as áreas de pinhão. Um verniz pode ser feita a partir do óleo e as folhas podem ser matérias-primas para os vermes de seda (Kumar e Sharma, 2008; Saturnino et al., 2005).

O pinhão manso, segundo Ackon e Ertel (2005), tem uma importância social, pois pode trazer uma estabilidade econômica, fornecendo oportunidades de renda e emprego nas comunidades rurais. De acordo com os autores, o sistema de cultivo de pinhão manso foi implantado com sucesso em Mali, assim, outros países como Gana, Burkina Faso, Malawi, Zimbabwe, Egito e Índia também começaram a testar a aplicabilidade do sistema de pinhão manso para a sua região. Por exemplo, no Egito, o pinhão manso está sendo cultivado em 500 000 hectares de terra do deserto, que é irrigado por água de esgotos tratada. Em comunidades rurais mais vulneráveis à seca da África, como Gana, o sistema de cultivo do pinhão manso pode ser utilizado como um elemento crucial para estimular um sistema ecológico fechado combinado. O sistema promove a quatro aspectos principais de desenvolvimento, que se combina para ajudar a alcançar um modo de vida sustentável para os agricultores das aldeias em termos de fornecimento de energia renovável, controle da erosão, crescimento econômico por meio de criação de emprego e redução da pobreza. Com a assistência adequada, as comunidades serão capazes de gerar oportunidades econômicas sustentável a nível local e desenvolver o recurso biodiesel.

O óleo produzido do pinhão manso é considerado como uma das melhores opções para produção de biodiesel, pois suas características físico químicas atende os limites estabelecidos pela normas vigentes da Agência Nacional do Petróleo - ANP, a ANP-4, e também das normas internacionais como a ASTM D6751 da "*American Society for Testing and Materials*" e IS 15607 da "*Indian Standard*" (Sarin et al., 2007; Fonseca et al., 2010).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados encontrados por Sarin et al. (2007) demonstrando as qualidades físico químicas de biodiesel produzido a partir das oleaginosas pinhão manso, girassol, soja e óleo de palma.

**Tabela 2.** Propriedades físico químicas de biodiesel

Property (units)	ASTM 6751 test method	ASTM 6751 limits	IS 15607 test method	IS 15607 limits	Jatropha ME	Pongamia (Karanja) ME	Sunflower ME	Soybean ME	Palm ME
Flash point (°C)	D-93	Min. 130	IS 1448 P:21	Min. 120	163	141	180	160	135
Viscosity at 40 °C (cSt)	D-445	1.9-6.0	IS 1448 P:25	2.5-6.0	4.40	4.16	4.10	4.00	4.50
Sulphated ash (% mass)	D-874	Max. 0.02	IS 1448 P:4	Max. 0.02	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002
Sulphur (% mass)	D-5453	Max. 0.05	ASTM D 5453	Max. 0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003
Cloud point (°C)	D-2500	N.A	IS 1448 P:10	N.A	4	4	4	4	16
Copper corrosion	D-130	Max. 3	IS 1448 P:15	Max. 1	1	1	1	1	1
Cetane number	D-613	Min. 47	IS 1448 P:9	Min. 51	57.1	55.1	55.6	58.1	54.6
Water and sediment (vol%)	D-2709	Max. 0.05	D-2709	Max. 0.05	0.05	0.03	0.04	0.023	0.01
CCR 100% (% mass)	D-4530	Max. 0.05	D-4530	Max. 0.05	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Neutralization value (mg, KOH/gm)	D-664	Max. 0.80	IS 1448 P:1/Sec. 1	Max. 0.50	0.48	0.10	0.20	0.15	0.24
Free glycerin (% mass)	D-6584	Max. 0.02	D-6584	Max. 0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Total glycerin (% mass)	D-6584	Max. 0.24	D-6584	Max. 0.25	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Phosphorus (% mass)	D-4951	Max. 0.001	D-4951	Max. 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Distillation temperature	D-1160	90% at 360 °C	Not under spec.	-	90%	90%	90%	90%	90%
Oxidation stability, hrs	NA	N.A	EN 14112	Min. 6 h	3.23	2.35	1.73	3.80	13.37

Fonte: Adaptado de Sarin et al. (2007).

Corroborando com todos esses resultados, Singh et al. (2006) afirmam que o pinhão manso tem reunido diversas vantagens comparativas para a produção de biodiesel: trata-se de planta perene, rústica, de fácil manejo, com óleo de qualidade para produção de biodiesel, com alto teor nas sementes e adequada ao consórcio com outros cultivos, por ser arbustiva e plantada em espaçamentos largos (Castro et al., 2008).

### 2.1.5 Aspectos negativos e suas soluções

Mesmo com as pesquisas no Brasil e no mundo que vem sendo realizadas, buscando resultados quanto ao rendimento produtivo dessa cultura, os dados obtidos até o presente momento não fornecem informações seguras quanto a sua produtividade (Araújo e Sousa, 2008).

Para solucionar essas incertezas quanto a produtividade de grãos, Abdelgadir et al. (2008), concluíram que o baixo número de flores femininas, a ramificação limitada e polinização inadequada são os principais fatores que limitam a produção de sementes e, portanto, rendimento de óleo do pinhão manso. Os autores ainda relatam que frutos oriundos de flores de polinização abertas foram significativamente mais numerosos, maiores e mais pesados do que aqueles produzidos a partir de flores auto-polinizadas, afirmam também que as flores expostas a multi visitas ou visitas individuais por abelhas tiveram frutos significativamente a mais do que aquelas que não receberam visitas, indicando que as abelhas são polinizadores efetivos.

Já Pant et al. (2006), em trabalho sobre o desenvolvimento e produção de óleo em pinhão manso em diferentes manejos e altitudes na Índia, concluíram que plantas cultivadas na amplitude altitudinal entre 600 e 800 m e áreas não aradas apresentaram os maiores teores de óleo, 45%, contra 22% de óleo nas sementes de plantas que foram cultivadas na amplitude altitudinal entre 800 e 1000 m e em solo arado. As altitudes abaixo de 600 m também apresentaram resultados satisfatórios, sendo intermediários aos demais tratamentos.

Sunil et al. (2008) em um estudo de caso avaliando um banco de germoplasma na Índia, indicam como parâmetros adequados à produção de pinhão manso a altura da planta entre 1,5 a 2 m, para facilitar a colheita fácil dos frutos, número de frutos por cacho de 6-10, segundo os autores esse valor parece equilibrar o número de frutos e teor de óleo na planta, um comprimento do pecíolo de 10-15 cm para otimizar a função primária da utilização de luz solar e da energia gasta no crescimento do pecíolo. Os autores encontraram teores entre 35 e 40% de óleo nas sementes e concluíram que esse teor com as características descritas anteriormente se traduzem em bons rendimentos, sendo equiparados à linhagens superiores.

Spinelli et al. (2010) em avaliação dos componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso, indicaram que plantas de maior produtividade de grãos e de maior volume de copa foram importantes para o desenvolvimento de materiais de alto rendimento de óleo e que a seleção de plantas deve considerar, além da maior relevância características na atribuição de pesos, a manutenção da variabilidade das características de qualidade, tais como teor de óleo na semente, para subsidiar a obtenção de ganhos futuros.

O pinhão manso é sem dúvidas uma oleaginosa com potencial para a produção de biodiesel no Brasil e no mundo. É potencial por suas características de produção: perene, teor de óleo, qualidade de óleo, produção de grãos por área, produção de óleo por área e também pela possibilidade do desenvolvimento socioeconômico e ambiental de áreas carentes nas comunidades do interior Brasileiro e também daqueles Países em desenvolvimento da África, Ásia e América do Sul.

### **2.1.6 Nutrição mineral**

Sobre a exigência nutricional do pinhão manso, os estudos na literatura vêm demonstrando que é uma cultura exigente em nutrientes, sendo o cálcio o de maior acúmulo em seus tecidos (Souza et al., 2011; Prates et al., 2011; Silva et al., 2009).

Em relação à adubação nitrogenada, o pinhão manso demonstra ser uma cultura com pouca demanda desse nutriente em sua fase inicial de desenvolvimento, conforme relatam Silva et al. (2011). Por outro lado Laviola e Dias (2008) apresentam resultados demonstrando que o teor e acúmulo de nitrogênio no limbo foliar e fruto do pinhão manso se sobressai em relação aos demais nutrientes. Em trabalhos realizados por Gusmão (2010) e Souza (2009) sobre desempenho de pinhão manso de segundo ano de cultivo sobre adubação de N-P-K, o nitrogênio é o nutriente que afeta linearmente a produção de frutos de pinhão manso, exigindo assim, doses entre 31 e 36 kg ha<sup>-1</sup> nas fases de produção e enchimento dos grãos (Souza, 2010).

O fósforo é um dos nutrientes que apresenta pouca demanda pela planta de pinhão manso quando se destaca o seu acúmulo, sendo classificado em quinto e quarto lugar no acúmulo pelas folhas e frutos, respectivamente (Laviola e Dias, 2008). Corroborando com essas informações, Silva et al. (2009) classificaram o fósforo em quinto lugar como nutriente que limita a produção de matéria seca de mudas de pinhão manso.

O potássio é um nutriente que também é muito exigido pelo pinhão manso, sendo classificado em terceiro e segundo lugar na ordem de acúmulo nas folhas e frutos (Laviola e Dias, 2008). Silva et al. (2009) encontraram redução de 85% na produção de matéria seca total (MSTO) por causa do K em experimento com sintomas visuais de deficiências nutricionais em relação ao tratamento completo, sendo o terceiro macronutriente que mais contribuiu para essa redução da MSTO, ficando o Ca e Mg em primeiro e segundo respectivamente, os maiores limitantes na produção de MSTO.

O cálcio no pinhão manso é um dos macronutrientes de maior importância, de acordo com os resultados encontrados até o momento na literatura. É o nutriente que mais se acumula em seus tecidos, principalmente caule e raiz (Prates et al., 2011; Laviola e Dias, 2008). Por ser um nutriente que faz parte da estrutura celular das plantas (Malavolta, 1997), assume importante papel para a cultura do pinhão manso, uma vez que, sendo caducifólia, ela tem como estratégia armazenar água principalmente no caule, órgão que mais acumula cálcio (Prates et al., 2011), e que na sua ausência se torna o mais limitante para o seu crescimento e desenvolvimento (Silva et al. 2009).

O magnésio de maneira geral apresenta a mesma importância no pinhão manso quando comparado com outras plantas. De acordo com Silva et al. (2010) em experimento sobre o crescimento inicial de pinhão manso utilizando a técnica do elemento faltante (Malavolta, 1980; Viégas et al., 2004), o magnésio foi um dos macronutrientes que mais limitou o



crescimento inicial do pinhão manso. Tal limitação se justificou, segundo os autores, devido a alta taxa de crescimento durante a fase vegetativa juvenil da planta. Silva et al. (2009) afirmam que o Mg apresentou limitação na produção da MSTO estatisticamente semelhante ao Ca, mostrando a importância da calagem para essa cultura e de que o uso de calcários dolomíticos é mais indicado do que o de calcários calcíticos.

O enxofre foi quarto nutriente que mais limitou o crescimento das mudas de pinhão manso de acordo com Silva et al. (2010) e segundo Laviola e Dias et al. (2008) esse nutriente apresenta acúmulo em quarta ordem em termos de maior acumulação.

Em relação aos micronutrientes, o Fe é o micronutriente que mais acumula nos tecidos do pinhão manso, seguido por Mn, Zn e Cu (Ferrari et al. 2011; Laviola e Dias, 2008). Corroborando com esses resultados, Silva et al. (2009) concluíram que o Fe é o micronutriente que mais limita o crescimento inicial de pinhão manso e Chaves et al. (2010) avaliando os efeitos de Zn e Cu no crescimento inicial do pinhão manso concluíram que os mesmos, nos moldes dos experimentos montados, não influenciaram no crescimento das plantas.

Por ser uma cultura ainda pouco estudada, os resultados em relação a sua nutrição mineral apontam para uma cultura exigente em nutrientes e que de acordo com Silva et al. (2009) suas deficiências nutricionais apresentam sintomas comuns a outras espécies.

## 2.2 A Cultura do Crambe

O crambe (*Crambe abyssinica* H.) é uma crucífera de inverno, considerada uma oleaginosa com elevado potencial para o Brasil. Originária da Etiópia e domesticada na região do Mediterrâneo, possui até 38% de óleo em base seca (Knights, 2002); servindo como matéria prima que apresenta grande potencial para produção de biodiesel, devido o óleo não ser recomendado para o consumo humano e por possuir alto teor de ácido erúico. Por ser rico nesse ácido (em média 55%), esta característica confere propriedades químicas importantes para indústria, sendo utilizado em lubrificantes, adjuvantes para aplicação de pesticidas e como agente deslizante em ligas plásticas (Air, 1997).

O crambe foi utilizado por muitos anos como forrageira alternativa na rotação de culturas e cobertura de solos para o plantio direto, mas hoje em dia vislumbram-se boas possibilidades de ser uma cultura voltada à produção de biodiesel. O estímulo à produção de biodiesel ajudou a resgatar o interesse pelo crambe, em virtude da sua superioridade em relação à soja e a algumas outras espécies na produção de óleos vegetais e por adaptar-se com facilidade ao plantio direto (Neves et al., 2007). Sendo que a cultura tem despertado interesse dos produtores de soja, porque todo seu cultivo é mecanizado e, por ser uma cultura de inverno, semeada após a colheita da soja em março a maio, apresentando baixo custo de produção (Pitol, 2008).

Com custos baixos, ciclo curto e tolerância à seca e às baixas temperaturas, pode ser plantado mais tardiamente, em épocas em que os riscos para as demais culturas de safrinha seriam muito elevados na região Centro Oeste (Pitol et al., 2010). O custo de produção destaca-se por resumir-se basicamente à semente (15 kg ha<sup>-1</sup>), ao adubo de semeadura e ao herbicida de dessecação, além das operações de pulverização, semeadura, colheita e transporte, alcançando um valor estimado de R\$ 277,00 por hectare para uma produtividade bruta de 1400 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (Pitol, 2008). Dados do mesmo autor indicam que em condições de alta fertilidade a cultura pode atingir 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Não obstante a cultura responder à fertilidade, ainda não há recomendações específicas quanto à adubação e até que nível é viável.

O sistema radicular do crambe é profundo, sendo que a cultura pode ser considerada boa recicladora de nutrientes (Knights, 2002). No entanto, o crambe é exigente quanto à

acidez do solo. Para o seu adequado desenvolvimento, o solo deve ser de boa a alta fertilidade. A camada de 0-20 cm deve estar corrigida e a de 20-40 cm com baixa saturação por  $Al^{3+}$  (Pitol et al., 2010). Os fertilizantes são os insumos com maior peso para a maioria das plantas cultivadas. O seu uso eficiente é fundamental para garantir boas produtividades e rentabilidade. As respostas a adubação do crambe são ainda pouco conhecidas nos sistemas de produção típicos de Mato Grosso do Sul. Sabe-se que a planta absorve grandes quantidades de N, o que pode ser inferido por seu elevado teor de proteínas no grão (Souza et al., 2009). De maneira geral, os solos tropicais apresentam baixo teor natural de fósforo. Além disso, a sua disponibilidade para as plantas é baixa, devido ao baixo teor de bases e acidez elevada, fatores que levam à alta fixação desse nutriente. Para contornar essa deficiência, devem ser utilizadas grandes quantidades de adubos fosfatados (Beltrán et al., 1998). Para a cultura do crambe no Brasil, atualmente a FUNDAÇÃO MS recomenda o uso de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Pitol, 2008), enquanto nos EUA utilizam-se cerca de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  (Oplinger et al., 1991). Vale ressaltar que poucos estudos agronômicos relacionados à adaptação e fertilização do Crambe são relatados. Sabe-se que a adubação fosfatada em quantidades adequadas para a planta estimula o desenvolvimento inicial e radicular, além de apressar a maturação fisiológica e estimular o florescimento aumentando a produtividade (Malavolta, 1997).

De forma geral, a utilização do óleo de crambe para a produção de biodiesel pode trazer vantagens por apresentar baixo ponto de fusão ( $-12^{\circ}C$ ) e alta estabilidade oxidativa (Pitol et al., 2010). Sendo uma cultura totalmente mecanizada, utilizando as mesmas estruturas de soja (plantadoras, colhedoras, armazéns etc.), o crambe tem uma grande potencial de expansão como alternativa de segunda safra em boa parte do Centro Oeste (Pitol, 2008).

### **3. CAPÍTULO I:**

## **ACÚMULO DE NUTRIENTES, AVALIAÇÃO DO ESTÁDIO NUTRICIONAL E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE PINHÃO MANSO NUM PLANOSSOLO HÁPLICO**

### 3.1 RESUMO

O pinhão manso, *Jatropha curcas* L., pertence à família Euphorbiaceae, é uma espécie amplamente distribuída em áreas tropicais e subtropicais com potencial para a produção de biocombustível. O objetivo deste trabalho foi avaliar, com base na característica química do solo, o teor, o acúmulo de macro e micronutrientes nas raízes, caules, folhas e frutos, quando presentes e a exportação de nutrientes pelos frutos e seu estágio nutricional pela coleta de folhas visando diagnosticar o estado nutricional da cultura do pinhão manso. Foram realizados dois experimentos sequenciais conduzidos a campo em Planossolo Háptico, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro. No primeiro experimento, implantado em delineamento blocos casualizados, as coletas das plantas foram realizadas a partir do quarto mês de plantio e posteriormente com intervalos de 2 meses. Foram realizadas 12 coletas no total. Em cada coleta foram amostradas quatro plantas. No campo foram obtidos os parâmetros altura da planta, número de ramos secundários sendo contados aqueles que saem do tronco principal e diâmetro do caule a 10 centímetros do solo. Posteriormente, as plantas foram segmentadas em raiz, caule, folhas com pecíolo e frutos quando presentes. O material, depois de seccionado e lavado com água destilada corrente, foi colocado em estufa de circulação de ar forçada, até atingir peso constante para determinação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. O segundo experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado com 24 repetições, cada repetição composta por uma planta de pinhão manso com 30 meses de idade cultivadas no espaçamento 4 x 2m. Foi avaliada a produção de frutos de pinhão manso no período de dezembro de 2011 a maio de 2012. Nesse período foram realizadas coletas mensais de folhas para a avaliação do estágio nutricional das plantas. Para a coleta das folhas foram contadas do ápice para base e coletadas a 3ª e 7ª folha para avaliação nutricional. Durante esse período os frutos que estiverem em ponto de colheita, frutos com a coloração entre amarelada e marrom, foram colhidos e levados para estufa a 65°C até atingirem peso constante, posteriormente foram quantificados, debulhados e pesados os frutos com sementes, apenas sementes e apenas cascas dos frutos. Após a secagem das folhas em estufa de circulação de ar forçada até atingirem peso constante e da pesagem das sementes e das cascas dos frutos, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. O pinhão manso apresenta a seguinte ordem em relação aos teores de nutrientes: N>Mg>Ca>K>P. O caule e a folha são os órgãos que apresentam os maiores teores de nutrientes. Em relação aos micronutrientes, considerando apenas a parte aérea, ou seja, caule, folhas e frutos, os teores ficaram na seguinte ordem: Mn>Fe>Zn>Cu. Ao considerar a raiz, essa ordem fica modificada nos dois primeiros micronutrientes, passando então o Fe na primeira colocação seguida pelo Mn. O pinhão manso, com dois anos de transplantio, acumula macronutrientes na seguinte ordem: Mg>Ca>N>P>K. Para os micronutrientes, a ordem de acúmulo fica na seguinte ordem: Mn>Fe>Zn>Cu. Para diagnosticar o estágio nutricional de plantas de pinhão manso, quanto a N, P, K, Ca, Cu, Zn e Fe, as folhas colhidas na posição 3 são mais adequadas. Para os nutrientes Mg e Mn é mais apropriado amostrar folhas da posição 7. O ramo com inflorescência é o mais indicado para retirar as folhas para diagnose nutricional de plantas de pinhão manso. Em relação a exportação de nutrientes pelos frutos de pinhão manso, as sementes apresentaram maior exportação para os nutrientes N, P, Cu e Zn, já as cascas apresentaram maior exportação de K, Ca, Mg, Mn e Fe.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L.. Nutrição mineral de plantas. Oleaginosas.

### 3.2 ABSTRACT

Physic nut (*Jatropha curcas* L.), belongs to the family Euphorbiaceae, is a species widely distributed in tropical and subtropical areas with potential for biofuel production. The objective of this study was to evaluate, based on the chemical characteristics of the soil, the content, the accumulation of macro and micronutrients in roots, stems, leaves and fruits, when present and the export of nutrients by fruits and nutritional stadium for collecting leaves order to diagnose the nutritional status of the culture of physic nut. were performed Two sequential experiments conducted in the field in a Fragiudult soil, in the experimental area of the Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, in the municipality of Seropédica, State of Rio de Janeiro. In the first experiment, implanted in a randomized block design, the plants were collected from the fourth month of planting and thereafter at intervals of 2 months. 12 collections were made in total. were sampled In each collect four plants . In the field were obtained parameters of plant height, branch number being counted those leaving the main stem and the diameter of the stem through the use of digital caliper 10 inches of soil. Subsequently, the plants were segmented into root, stem, leaves with petioles and fruits as gifts. The material, after sectioned and washed with running distilled water was placed in an oven with forced air circulation until constant weight to determine the nutrients N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn. The second experiment was established in a completely randomized design with 24 replicates, each replicate consisting of a physic nut plant with 30 months old cultivated in 4 x 2m. Fruit production of physic nut were evaluated between December 2011 and May 2012. During this period Monthly collections of leaves to assess the nutritional state of plants were performed. To collect the leaves were counted from the apex to base and collected the 3rd and 7th leaf nutritional assessment. During this period the fruits which are on the point of harvest, fruit with the color between yellow and brown, were collected and taken to an oven at 65°C until constant weight, were subsequently quantified, threshed and weighed the fruits with seeds, only seeds and only fruit shells. After drying leaves, seeds and peel of the fruit in an oven with forced air circulation until constant weight were determined levels of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn. Physic nut has the following order in relation to nutrient levels:  $N > Mg > Ca > K \geq P$ . The stem and leaf are the organs that have the highest nutrient content. Regarding micronutrients in the aerial part, i.e., stem, leaves and fruits, the levels were in the following order:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ . When considering the root, this sequence is modified in the first two micronutrients, where Fe is in the first position followed by the Mn. The physic nut plant, with two years of transplanting accumulates macronutrients in the following order:  $Mg > Ca > N > P \geq K$ . For the micronutrients, the accumulation order is as following:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ . The leaves harvested at position 3 are more appropriate to diagnose the nutritional level of physic nut plants, related to N, P, K, Ca, Cu, Zn and Fe nutrients. For Mg and Mn it is more appropriate nutrients to sample leaves at position 7. The branch with inflorescence is the most suitable for removing the leaves of plants for nutritional diagnosis of physic nut. Regarding the exportation of nutrients in the fruits of physic nut, the seeds showed higher exports for the nutrients N, P, Cu and Zn, since the shells had higher export of K, Ca, Mg, Mn and Fe.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L.. Mineral nutrition of plants. Oilseeds.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis de energia, como o biodiesel, por exemplo, vem fazendo com que pesquisadores investigam sobre novas matérias prima que atendam de forma sustentável a demanda pela produção dessa fonte de energia. O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), pertence à família Euphorbiaceae e é uma espécie amplamente distribuída em áreas tropicais e subtropicais e com potencial para a produção de biocombustível (Sujatha et al., 2008). Suas sementes possuem teor de óleo de 33 a 38%. Essa oleaginosa tem despertado interesse dos produtores, do governo e das instituições de pesquisa, por ser uma cultura que apresenta enorme potencial como fonte de matéria prima para biodiesel, pela sua rusticidade, adaptabilidade às diversas condições edafoclimáticas e sobrevivência em condições de solos marginais de baixa fertilidade natural. Devido a esse potencial, estudos sobre sua nutrição mineral vêm sendo realizados por essas instituições em todo o mundo (Saturnino et al., 2005; Arruda et al., 2004; Dias et al., 2007).

Laviola e Dias (2008) relatam que o comportamento do pinhão manso em solos corrigidos e adubados ainda são incipientes e preliminares, havendo a necessidade de mais estudos nessa vertente para obter as informações que direcione o manejo ideal da nutrição mineral dessa cultura visando a sua máxima lucratividade. Estudos sobre as respostas do pinhão manso quanto a diferentes tratamentos à sua nutrição mineral vêm sendo realizados, dentre eles, verificam-se técnicas de elemento faltante (Silva et al., 2010), doses de fontes orgânicas (Prates et al., 2011), diferentes doses e formulações de fontes minerais (Gusmão, 2010), uso de águas salinas (Veras et al., 2011), entre outros.

Todos os trabalhos citados demonstram que o pinhão manso apresenta-se como uma cultura exigente em boas condições químicas e físicas do solo, o que faz repensar sobre a ideia de ser uma planta resistente a condições adversas de solo e clima (Arruda et al., 2004; Heller, 1996).

Por ser uma cultura ainda pouco estudada, os resultados em relação a sua nutrição mineral apontam para uma cultura exigente em nutrientes e que, de acordo com Silva et al. (2009), suas deficiências nutricionais apresentam sintomas comuns a outras espécies. Sobre a exigência nutricional do pinhão manso, os estudos na literatura relatam que é uma cultura exigente em nutrientes, sendo o cálcio o de maior acúmulo em seus tecidos (Souza et al., 2011; Silva et al., 2009).

Quanto a produtividade, o pinhão manso sofre bastante variação, em função da região de plantio, método de cultivo e tratos culturais, idade da cultura, assim como da quantidade de chuva e da fertilidade do solo. (Arruda et al., 2004).

No entanto, para uma maior produtividade é necessário atender as demandas nutricionais através da adubação para o melhor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura. Para atender essas demandas, a determinação do estado nutricional da cultura se torna crucial, através de planejamento e execução das adubações. A análise foliar se torna uma ferramenta importante na predição de possíveis desordens nutricionais e avaliação do estágio nutricional das plantas.

Segundo Lima et al. (2011), a validação dos resultados da análise foliar deve ter todos os fatores que causam variações sobre os teores foliares de nutrientes identificados. Sendo assim, fontes de variação como número de folhas e plantas amostradas (Hernandes et al., 2011), sazonalidade (Amaral et al., 2002; Lima et al., 2008), idade e posição da folha no ramo (Rodrigues et al., 2010), entre outros fatores, devem ser isolados

Os estudos sobre a dinâmica de nutrientes em culturas perenes foi basicamente realizado por pesquisadores de outros países, demonstrando uma carência de investigações

nas condições edafoclimáticas brasileiras, principalmente em relação à cultura do pinhão manso (Lima et al., 2011).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar, com base na característica química do solo, o teor, o acúmulo de macro e micronutrientes nas raízes, caules, folhas e frutos, quando presentes e a exportação de nutrientes pelos frutos e seu estágio nutricional pela coleta de folhas visando diagnosticar o estado nutricional da cultura do pinhão manso.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção dos dados, foram realizados dois experimentos sequenciais na mesma área para obtenção dos dados, sendo:

#### 3.4.1 Teor e acúmulo de nutrientes em plantas de pinhão manso

O experimento foi conduzido a campo, em Planossolo Háplico, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, situado em torno das coordenadas geográficas 22° 44' 38" S e 43° 42' 27" W, em uma altitude média de 30 m acima do nível do mar, no período de compreendido entre 05/2009 a 06/2011.

As sementes de pinhão manso foram postas para germinar em janeiro de 2009, em sacos plásticos com dimensão de 10 x 20 cm, contendo substrato comercial, no viveiro de mudas do Instituto de Florestas da UFFRJ, e, as mudas foram transplantadas para o campo em 01 de abril de 2009. Seguindo um delineamento em blocos casualizados com três repetições, sendo 60 plantas por parcela, com espaçamento de 4 x 2m. Mensalmente foram executadas roçadas, de forma mecânica, com vista à redução da competição com as plantas invasoras, quando necessário sendo feito o controle de formigas. Antes da implantação do experimento, em função da característica do Planossolo Háplico, foram construídos drenos para melhorar a condição hídrica do local, principalmente em períodos de chuva.

Foi feita uma calagem prévia, de acordo com os resultados da análise do solo (Tabela 3), com um calcário comercial em quantidade equivalente a 2 toneladas de calcário PRNT 100% ha<sup>-1</sup> 20cm<sup>-1</sup>. Foi realizada uma única adubação de plantio que constou de 3 litros de esterco bovino por cova + 400g de NPK 04-31-04, com 04% Zn (dos 31% de P, 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico). Como adubação de manutenção, foi realizado no dia 02 de novembro de 2010 a aplicação de 200 gramas do formulado NPK 20-20-20 por planta.

**Tabela 3.** Características químicas e granulometria do Planossolo Háplico da área experimental.

Atributos químicos															
Prof. cm	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH <sub>água</sub>	Corg.	P	K
	-----			cmol <sub>c</sub>	dm <sup>-3</sup>	-----	-----			%-----		1:2,5	%	---	mg L <sup>-1</sup> ---
0-20	0,10	2,05	1,05	0,07	2,10	0,1	3,3	5,4	61,2	3,0	1,9	5,5	0,94	14,0	28,0
Atributos físicos															
Areia				Silte				Argila total				Argila natural			
-----															
78				5				17				1			

As coletas foram realizadas a partir do quarto mês de plantio e posteriormente com intervalos de 2 meses cada. Foram realizadas 12 coletas no total.

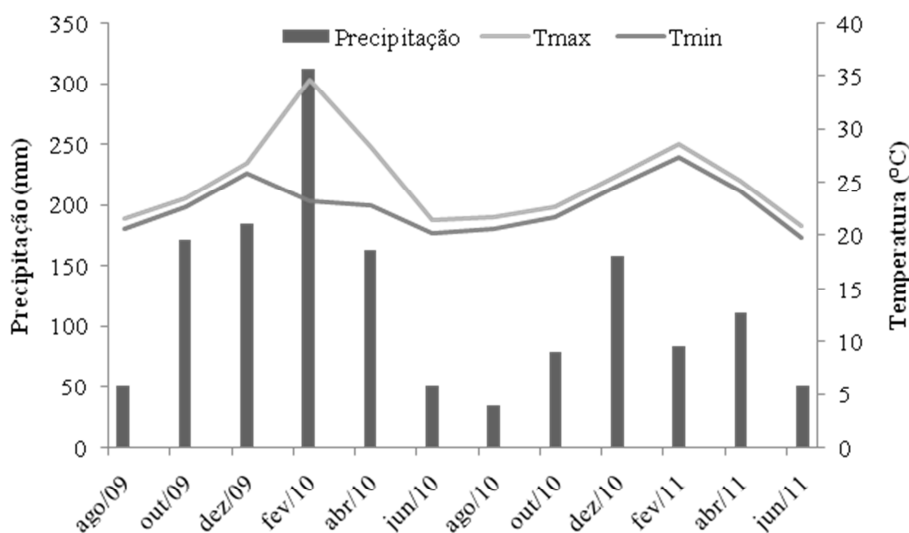
No momento da primeira coleta, realizada em 30/07/2009, foi feita uma poda de uniformização de altura e nesta ocasião foram deixados somente 3 ramos principais por planta.

Em cada coleta foram amostradas 4 plantas. No campo foram obtidos os parâmetros altura com auxílio de trena, número de ramos secundários sendo contados aqueles que saem do tronco principal e diâmetro do caule através do uso do paquímetro digital a 10 centímetros do solo. Posteriormente, as plantas foram cuidadosamente coletadas e levadas para o laboratório, onde foram segmentadas em raiz, caule, folhas com pecíolo e frutos quando presentes. Depois de seccionados e lavados com água destilada corrente, foram colocados em



estufa de circulação de ar forçada, a 65°C, até atingirem peso constante. Após a obtenção da massa seca da raiz (MSR), caule (MSCA), folha (MSFO), e frutos quando presentes (MSFr), os materiais foram moídos em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório Solo Planta do departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ, para a determinação de N, P, K, Ca, Mg pelo método de digestão sulfúrica, e Cu, Fe, Mn e Zn através do método de digestão nítrico-perclórica, de acordo com metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995).

Também, no momento destas coletas de material vegetal, foi feita uma amostragem de solo na projeção da copa, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30cm. O solo foi seco ao ar, passando por peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) e nesta feita a avaliação da fertilidade, quantificando os macronutrientes trocáveis segundo Embrapa (1997). Os dados climáticos foram levantados durante o período de avaliação do experimento, através da estação meteorológica o INMET, localizado na cidade de Seropédica-RJ (Figura 1).



**Figura 1.** Valores de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima durante o período do experimento de acúmulo de nutrientes em pinhão manso na cidade de Seropédica-RJ. Fonte: Inmet estação de Seropédica/RJ.

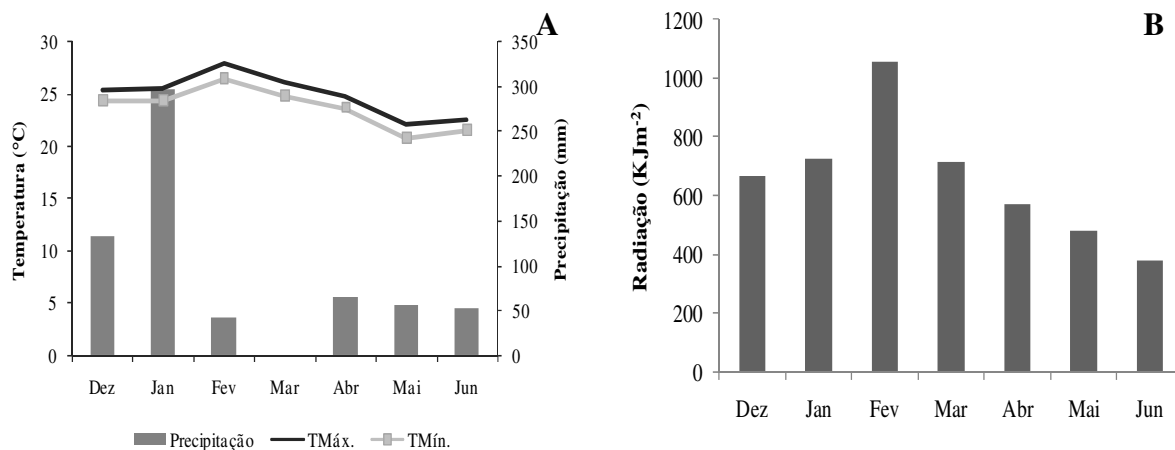
### 3.4.2 Exportação de nutrientes pelos frutos e estágio nutricional pela coleta de folhas

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com 24 repetições, cada repetição composta por uma planta de pinhão manso com 30 meses de idade cultivadas no espaçamento 4 x 2 m.

Foi avaliada a produção de frutos de pinhão manso no período de dezembro de 2011 a maio de 2012. Nesse período foram realizadas coletas mensais de folhas para a avaliação do estágio nutricional das plantas. Para a coleta das folhas foram contadas do ápice para base e coletadas a 3ª e 7ª folha para avaliação nutricional, de acordo com Lima et al. (2011). Antes da primeira avaliação, foi realizado uma amostragem de solo na profundidade de 0-20cm para caracterização química e física (Tabela 4). Na Figura 2 são apresentadas as médias mensais de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas durante o período de avaliação do experimento.

**Tabela 4.** Atributos químicos e granulometria do Planossolo Háplico.

Atributos químicos															
Prof. cm	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH <sub>água</sub>	Corg. %	P - mg L <sup>-1</sup>	K
0-20	1,00	1,30	0,60	0,03	2,9	0,0	2,9	5,8	50,1	0,0	17,2	5,1	0,70	30,6	11,3
Atributos físicos															
Areia		Silte		Argila total				Argila natural							
dag kg <sup>-1</sup>															
78		5		17				1							



**Figura 2.** Dados de precipitação e temperaturas médias máxima e mínima (A), e radiação (B), durante o período da avaliação do experimento.

Para determinar a produção dos frutos, mensalmente foram feitas avaliações do número de inflorescência, número de ramos novos, número de cachos e o número de frutos por cacho nas plantas. Durante esse período os frutos que estavam em ponto de colheita, frutos com a coloração entre amarelada e marrom, foram colhidos e levados para estufa a 65°C até atingirem peso constante, o que leva aproximadamente o tempo de 72 horas, posteriormente foram quantificados, debulhados e pesados os frutos com sementes, apenas sementes e apenas cascas dos frutos.

Após a secagem das folhas em estufa de circulação de ar forçada por 72 horas até atingirem peso constante e da pesagem das sementes e das cascas dos frutos, os materiais foram moídos em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório Solo Planta do departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ para a determinação de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn através pelo método de digestão nítrico-perclórica e o N pelo método da digestão sulfúrica, de acordo com metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995).

### 3.4.3 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste F. As diferenças entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Dados quantitativos em função do tempo foram submetidos à regressão com coeficientes testados até 10% de probabilidade. Para a análise estatística foi usado o programa SAEG (SAEG, 2007).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Teor e acúmulo de nutrientes na planta de pinhão manso

Na Tabela 5 são apresentados os teores disponíveis de nutrientes do solo nas camadas de 0 a 30 cm de profundidade de cada coleta realizada durante o período do experimento. Observa-se que entre a coleta 10 e 11 houve um aumento dos teores disponíveis no solo de modo geral, essa observação se deve a adubação de manutenção realizada para suprir a demanda nutricional da cultura.

Nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5 são apresentadas a dinâmica dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e Fe da raiz, caule, folha e fruto, respectivamente, das plantas de pinhão manso durante o período de 2 anos de avaliação do experimento.

De modo em geral, os teores de N, Ca e Mg tiveram maiores valores na raiz, caule e folha quando houve maior precipitação durante o período de avaliação do experimento. Já em relação aos micronutrientes Cu, Mn, Zn e Fe, não foi observado esse comportamento, havendo flutuações nos teores nas diversas partes analisadas de pinhão manso (Figura 3, Figura 4 e Figura 5).

A presença de conteúdo de água no solo favorece todo o movimento e absorção de nutrientes pelas plantas (Raij, 2011), a demanda por esses nutrientes varia em função do estágio fenológico da cultura (Esptein e Bloom, 2006). O período de avaliação das plantas no presente trabalho foi do crescimento inicial até uma idade fenológica considerada jovem, isto é, até os 2 anos de idade, uma vez que, a cultura atinge idade de produção a partir do quarto ano (Heller, 1996; Acthen et al., 2010).

No entanto, o solo da área experimental, Planosso Háplico, possui limitações ao uso agrícola, decorrentes de suas características físicas e baixo teor de matéria orgânica (Tabela 5), com mudança textural abrupta entre os horizontes A e/ou E para um Bt com elevado acúmulo de argila, o que, em períodos chuvosos, dificultam a drenagem de água e o desenvolvimento radicular das plantas. Em decorrência dessa situação, e mesmo havendo feito correção do solo, adubação e drenos na área, a flutuação dos teores de micronutrientes nos tecidos de pinhão manso pode ser atribuída a esses fatores.

Dechen e Nachtigall (2006) descrevem alguns fatores que venham a afetar a disponibilidade de micronutrientes no solo, sendo os mais importantes: pH; quantidade de matéria orgânica; textura; atividade microbiana; a drenagem; as condições de oxi-redução e as condições climáticas.

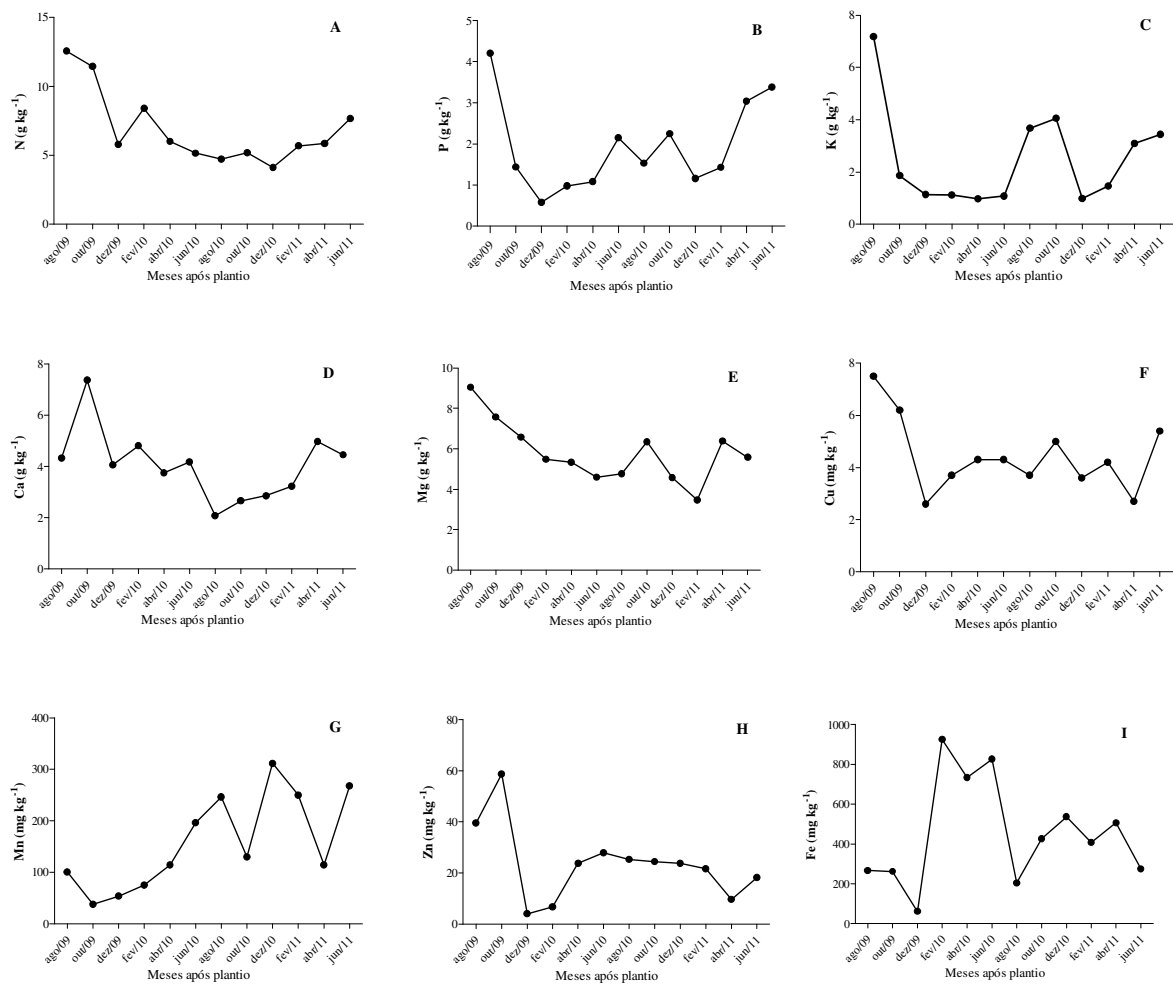
**Tabela 5.** Resultados de análises químicas do solo das coletas durante o período do experimento.

Coleta	Profund. (cm)	Na	Ca	Mg	K	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				V	----- % -----		pH <sub>água</sub> 1:2,5	Corg %	P ----- mgL <sup>-1</sup> -----	K
						H+Al	Al	S	T		m	n				
1	0-10	0,01	3,00	1,00	0,01	2,60	0,0	4,0	6,6	61,0	0,0	0,0	5,9	0,43	14	4,0
	10-20	0,01	3,20	0,80	0,01	2,00	0,0	4,0	6,0	67,0	0,0	0,0	5,6	0,71	34	4,0
	20-30	0,01	3,00	1,80	0,01	1,70	0,2	4,8	6,5	74,0	4,0	0,0	5,5	0,50	24	4,0
2	0-10	0,00	2,00	1,00	0,00	2,20	0,0	3,0	5,2	57,7	0,0	0,0	5,8	1,38	7,2	5,9
	10-20	0,00	1,50	0,90	0,00	1,60	0,0	2,4	4,0	60,0	0,0	0,0	5,6	1,41	3,8	5,9
	20-30	0,00	1,00	1,00	0,00	1,50	0,0	2,0	3,5	57,1	0,0	0,0	5,5	1,44	1,5	3,1
3	0-10	0,00	1,50	0,85	0,00	1,70	0,10	2,3	4,1	58,1	4,1	0,0	5,8	1,30	1,0	1,6
	10-20	0,00	1,09	0,95	0,00	1,90	0,03	2,0	3,9	51,8	1,4	0,0	5,6	1,40	0,6	1,8
	20-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0-10	0,01	1,08	1,02	0,006	1,70	0,07	2,1	3,8	55,4	3,2	0,2	5,4	1,34	1,3	2,3
	10-20	0,01	1,04	1,06	0,006	1,70	0,13	2,1	3,8	55,4	5,8	0,2	5,4	1,42	0,7	2,5
	20-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0-10	0,01	0,30	0,30	0,01	1,50	0,0	0,6	2,1	29,1	0,0	0,4	5,1	1,21	1,7	2,5
	10-20	0,01	0,20	0,20	0,01	1,60	0,1	0,4	2,0	20,6	19,4	0,4	5,1	1,32	1,4	2,9
	20-30	0,01	0,20	0,10	0,01	1,20	0,2	0,3	1,5	20,8	38,8	0,5	4,9	1,34	1,9	3,0
6	0-10	0,01	0,30	0,20	0,01	1,20	0,0	0,5	1,7	30,1	0,0	0,5	5,2	1,24	2,8	3,8
	10-20	0,01	0,30	0,20	0,01	1,80	0,0	0,5	2,3	22,3	0,0	0,3	5,1	1,20	1,7	3,7
	20-30	0,01	0,20	0,10	0,01	1,10	0,2	0,3	1,4	22,4	38,6	0,6	4,8	1,19	1,1	3,8
7	0-10	0,01	0,20	0,10	0,00	2,20	0,0	0,3	2,5	12,4	0,0	0,3	5	1,35	5,8	1,6
	10-20	0,01	0,20	0,10	0,01	2,30	0,0	0,3	2,6	12,0	0,0	0,3	4,9	1,24	3,1	2,3
	20-30	0,00	0,10	0,10	0,01	2,10	0,0	0,2	2,3	8,9	0,0	0,0	4,8	1,30	1,3	2,1

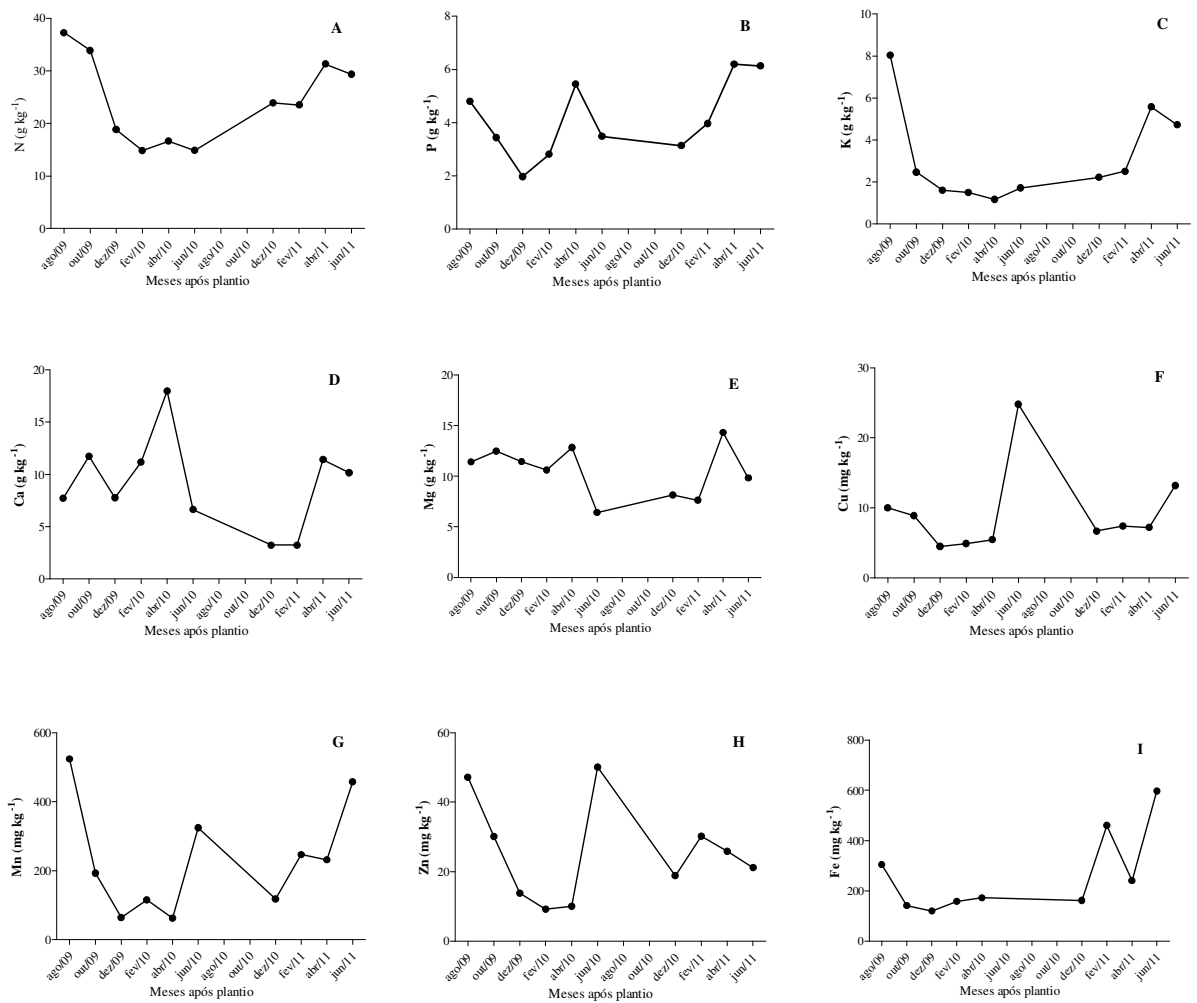
continua....

**Tabela 5.**Continua...

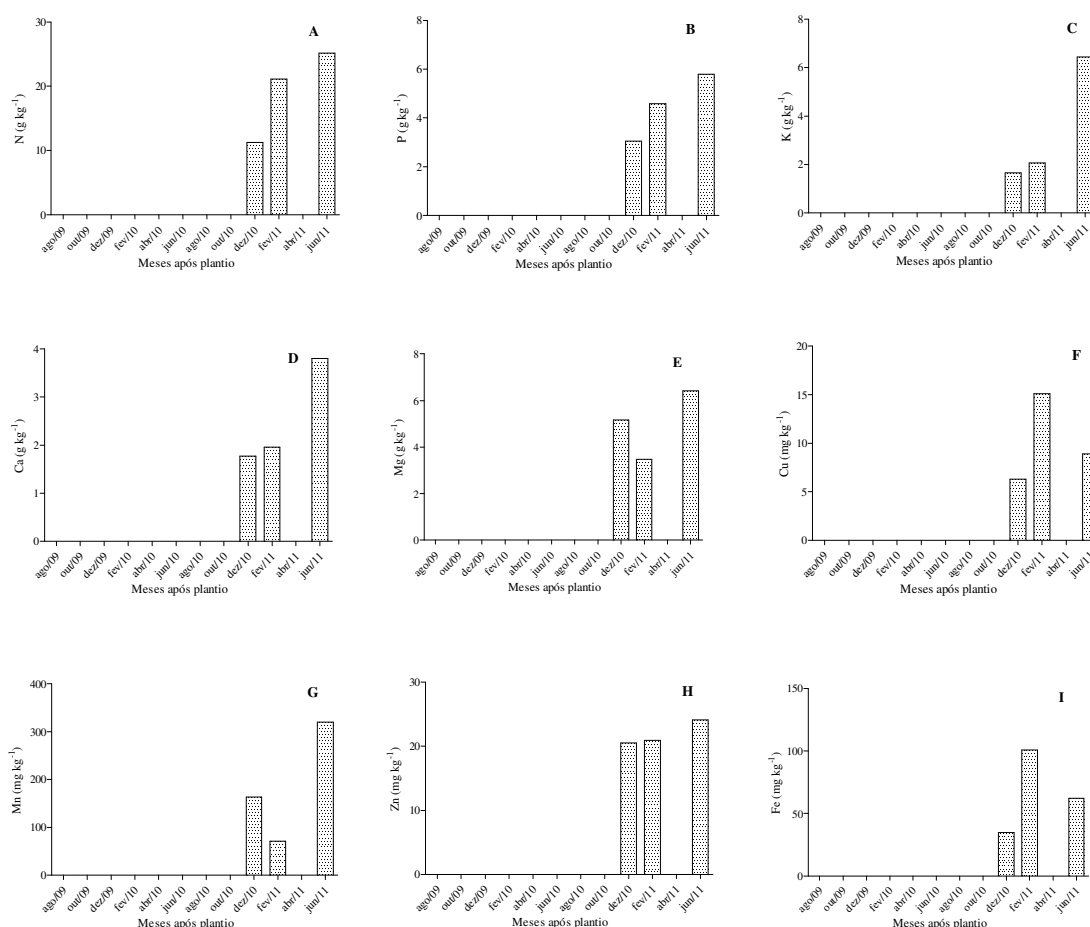
Coleta	Profund. (cm)	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH <sub>água</sub>	Corg	P	K
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						----- % -----			1:2,5	%	----- mgL <sup>-1</sup> -----			
8	0-10	0,04	1,50	1,20	0,01	2,03	0,1	2,7	4,8	57,5	2,1	0,8	5,4	1,34	1,8	2,6
	10-20	0,01	0,70	1,00	0,00	2,03	0,1	1,7	3,7	45,7	6,6	0,2	5,1	1,25	1,5	0,7
	20-30	0,02	0,90	1,10	0,00	1,77	0,1	2,0	3,8	53,4	5,6	0,5	5,2	1,31	1,3	0,8
9	0-10	0,00	1,40	0,40	0,01	4,40	0,1	1,8	6,2	29,1	5,2	0,0	5,14	1,30	2,1	2,1
	10-20	0,00	0,70	0,40	0,00	5,20	0,1	1,1	6,3	17,5	8,3	0,0	5,05	1,25	1,0	1,8
	20-30	0,00	0,90	0,50	0,00	3,30	0,1	1,4	4,7	29,9	6,6	0,0	5,58	1,41	2,1	2,1
10	0-10	0,00	1,10	0,60	0,01	5,00	0,1	1,7	6,7	25,5	5,5	0,0	5,06	1,28	2,2	3,4
	10-20	0,00	1,00	0,60	0,00	5,00	0,2	1,6	6,6	24,3	11,1	0,0	5,14	1,31	1,1	1,6
	20-30	0,00	1,20	0,30	0,00	5,20	0,0	1,5	6,7	22,4	0,0	0,0	5,05	1,34	1,0	1,6
11	0-10	0,00	0,70	0,50	0,01	2,10	0,0	1,2	3,3	36,5	0,0	0,0	4,7	1,26	2,2	2,9
	10-20	0,00	0,60	0,60	0,00	1,60	0,0	1,2	2,8	43,0	0,0	0,0	4,7	1,30	1,8	1,9
	20-30	0,00	0,80	0,50	0,00	1,50	0,0	1,3	2,8	46,5	0,0	0,0	5,1	1,35	1,0	1,4
12	0-10	0,00	0,90	0,60	0,00	2,00	0,0	1,5	3,5	42,9	0,0	0,0	5,1	1,30	4,0	1,3
	10-20	0,00	0,90	0,60	0,00	1,70	0,0	1,5	3,2	46,9	0,0	0,0	5,1	1,28	2,0	1,0
	20-30	0,00	0,90	0,70	0,00	1,30	0,0	1,6	2,9	55,2	0,0	0,0	5,6	1,42	1,0	0,8



**Figura 3.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), manganês (G), zinco (H) e ferro (I) em função do tempo nas raízes de pinhão manso.



**Figura 4.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) em função do tempo nas folhas de pinhão manso.



**Figura 5.** Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) em função do tempo nos frutos de pinhão manso.

Os maiores teores de nutrientes foram encontrados nas folhas, com exceção das coletas realizadas aos 16 e 18 meses (Tabela 6 e Figura 4), pois não havia folhas na maioria das plantas, pela época de amostragem, no inverno, o que é normal da cultura, por ser caducifólia (Heller, 1996).

**Tabela 6.** Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) em plantas de pinhão manso avaliadas durante 24 meses.

Parte da Planta	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
	..... (g kg <sup>-1</sup> ).....					..... (mg kg <sup>-1</sup> ).....			
Raiz	6,9C	1,9B	2,5B	4,1B	5,8B	4,4B	158,3B	23,7B	452,4A
Caule	7,0C	2,4B	2,4B	6,0A	6,7B	3,6B	172,9B	25,1B	154,3C
Folha	24,5A	4,1A	3,2A	9,1A	10,5A	9,3A	234,0A	70,7A	235,7B
Fruto	19,2B	4,5A	3,4A	2,5B	5,0B	9,2A	140,2C	29,2B	129,5C

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Observa-se que em função dos teores apresentados na Tabela 6, o pinhão manso possui alto teor de nutrientes em seus tecidos apresentando a seguinte ordem de teores para



macronutrientes:  $N > Mg > Ca > K \geq P$ . O caule e a folha são os órgãos que apresentam os maiores teores de nutrientes. Corroborando com estes resultados, Laviola e Dias (2008) também encontraram os maiores teores de N nas folhas de pinhão manso seguido pelo Ca.

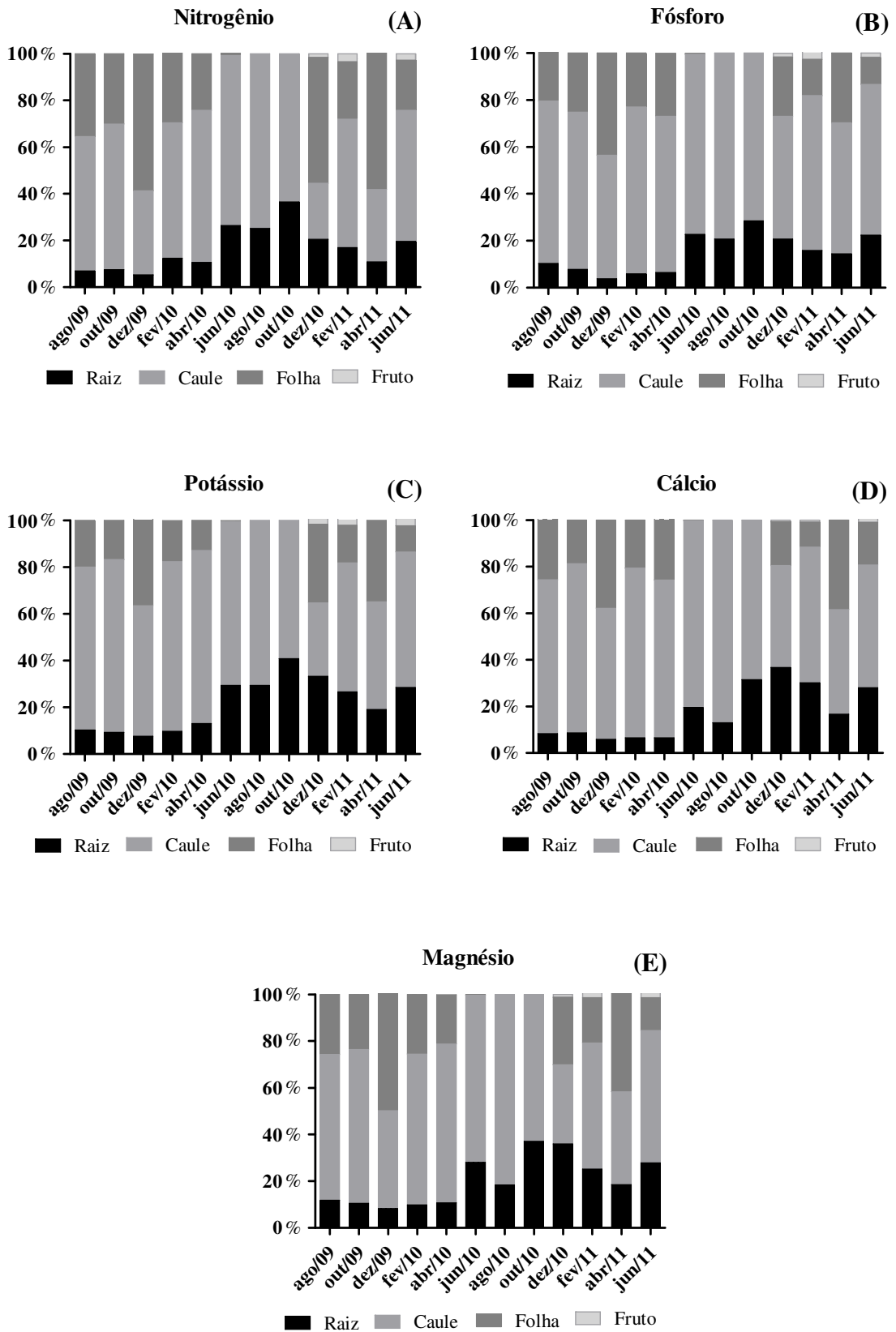
Em relação aos micronutrientes, considerando apenas a parte aérea, ou seja, caule, folhas e frutos, os teores ficaram na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$  (Tabela 6). Ao considerar a raiz, essa ordem fica modificada nos dois primeiros micronutrientes, passando então, o Fe na primeira colocação seguida pelo Mn.

Observa-se que, com exceção do Fe na raiz, o caule é o órgão que apresenta os maiores teores de micronutrientes. Laviola e Dias (2008) encontraram os maiores teores de Mn nas folhas de pinhão manso seguido pelo Fe. Nesse trabalho verifica-se que mesmo nas folhas, o Fe é o nutriente com maior teor, seguido pelo Mn.

Nas Figura 6 e Figura 7 são apresentadas as distribuições percentuais dos nutrientes na planta de pinhão manso, isto é, a proporção relativa do nutriente em cada parte da planta.

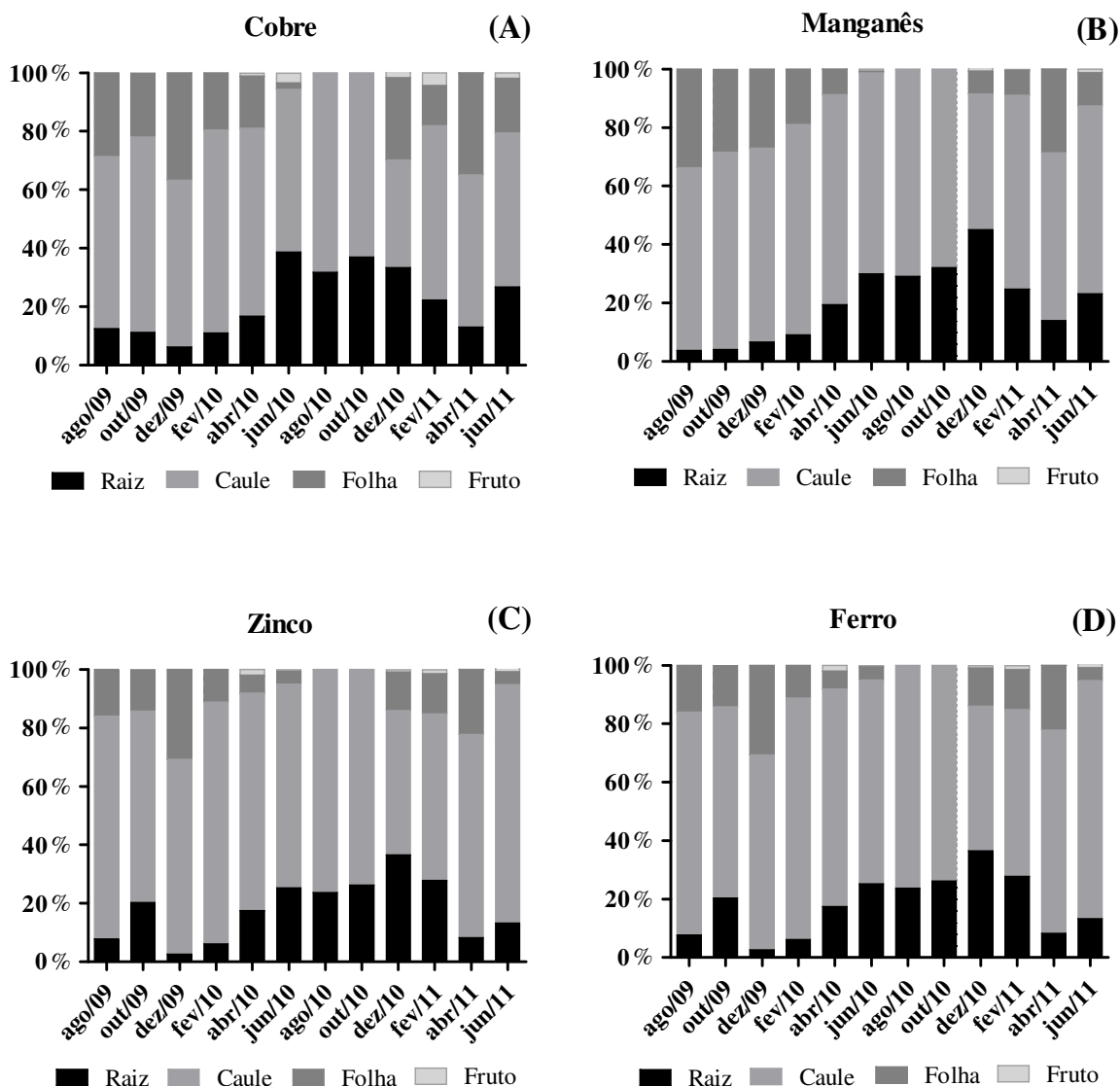
O nitrogênio, inicialmente, teve maior proporção no caule e folhas do pinhão manso, posteriormente essa proporção, em função das quedas das folhas, foi acumulando entre caule e raiz, e novamente, com a renovação das folhas, estas voltam a ter uma maior participação na distribuição desse nutriente (Figura 6A). Santos Neto (2011) avaliando a distribuição percentual de nutrientes em plantas de pinhão manso encontrou os maiores teores de N, Ca e K, principalmente as folhas, dos compartimentos analisados nas plantas. Os mesmos resultados foram destacados por Laviola e Dias (2008) e Maia et al., (2011).

Para o P, o caule predomina como órgão vegetativo com maior acúmulo desse nutriente pelas plantas de pinhão manso (Figura 6B). Santos Neto (2011) também encontrou maiores conteúdos de P nos ramos e caule em plantas de pinhão manso com dois anos de idade. O P, junto com o N, é altamente móvel e se torna prontamente redistribuído, mesmo no transporte a longa distância, quando chega à folha ou às regiões de crescimento (Malavolta et al., 1997), o seu transporte pode ser determinado pelo movimento e pela demanda de carboidratos dentro da planta, e não pelos requerimentos de P do dreno (Araújo e Machado, 2006), sendo assim, pode se inferir que os caules e ramos do pinhão manso são órgãos vegetativos que determinam uma alta demanda de carboidratos.



**Figura 6.** Distribuição percentual de nutrientes em plantas de pinhão manso para Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Cálcio (D) e Magnésio (E) em g planta<sup>-1</sup>.

Os valores de K, Ca e Mg são semelhantes, em relação à suas participações nas partes da planta de pinhão manso (Figura 6C, Figura 6D e Figura 6E). O caule se apresenta como órgão que mais acumula esses nutrientes, porém quando aumenta a presença das folhas nas plantas, uma vez que parte da estação de inverno suas folhas caem por ser uma planta caducifólia, esses valores passam então a serem distribuídos mais uniformemente entre as folhas, caules e raízes. Esse comportamento se torna interessante principalmente para o Ca, por ser considerado um nutriente pouco móvel na planta (Epstein e Bloom, 2006), observa-se que o mesmo se acumula nas folhas ao regenerarem. De acordo com Vitti et al. (2006) o transporte de Ca via foliar ocorre no floema preferencialmente para tecidos novos, estando o movimento atrelado à atividade metabólica.

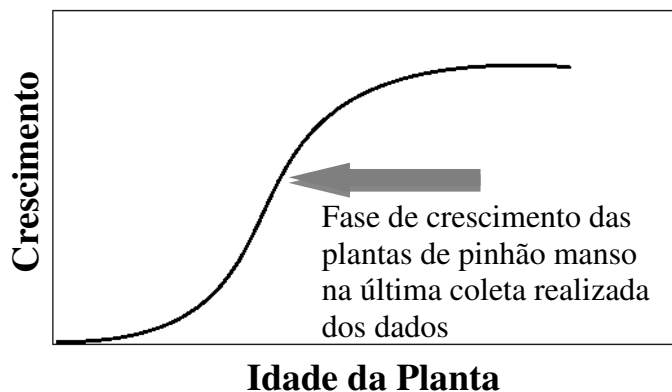


**Figura 7.** Distribuição percentual de nutrientes em plantas de pinhão manso para Cobre (A), Manganês (B), Zinco (C) e Ferro (D) em mg planta<sup>-1</sup>.

Para os micronutrientes, o Cu, Mn e Zn tiveram comportamentos semelhantes em relação a distribuição percentual nos órgãos das plantas, tendo o caule como principal órgão

acumulativo (Figura 7A, Figura 7B e Figura 7C). A ausência das folhas durante um período faz com que a partição desses três micronutrientes sejam direcionadas para as raízes. Para o Fe, o caule e raiz são os principais órgãos que acumulam esse micronutriente (Figura 7D). Na ausência das folhas, esses micronutrientes se acumulam em grande parte nas raízes, chegando a ter valores próximo a 80% em relação aos demais órgãos vegetativos. O Fe tem sua mobilidade considerada como baixa nos tecidos vegetais. Essa mobilidade é afetada, negativamente, por vários fatores, como elevado conteúdo de P, deficiência de K, quantidade elevada de Mn e baixa intensidade luminosa (Dechen e Nachtigall, 2006).

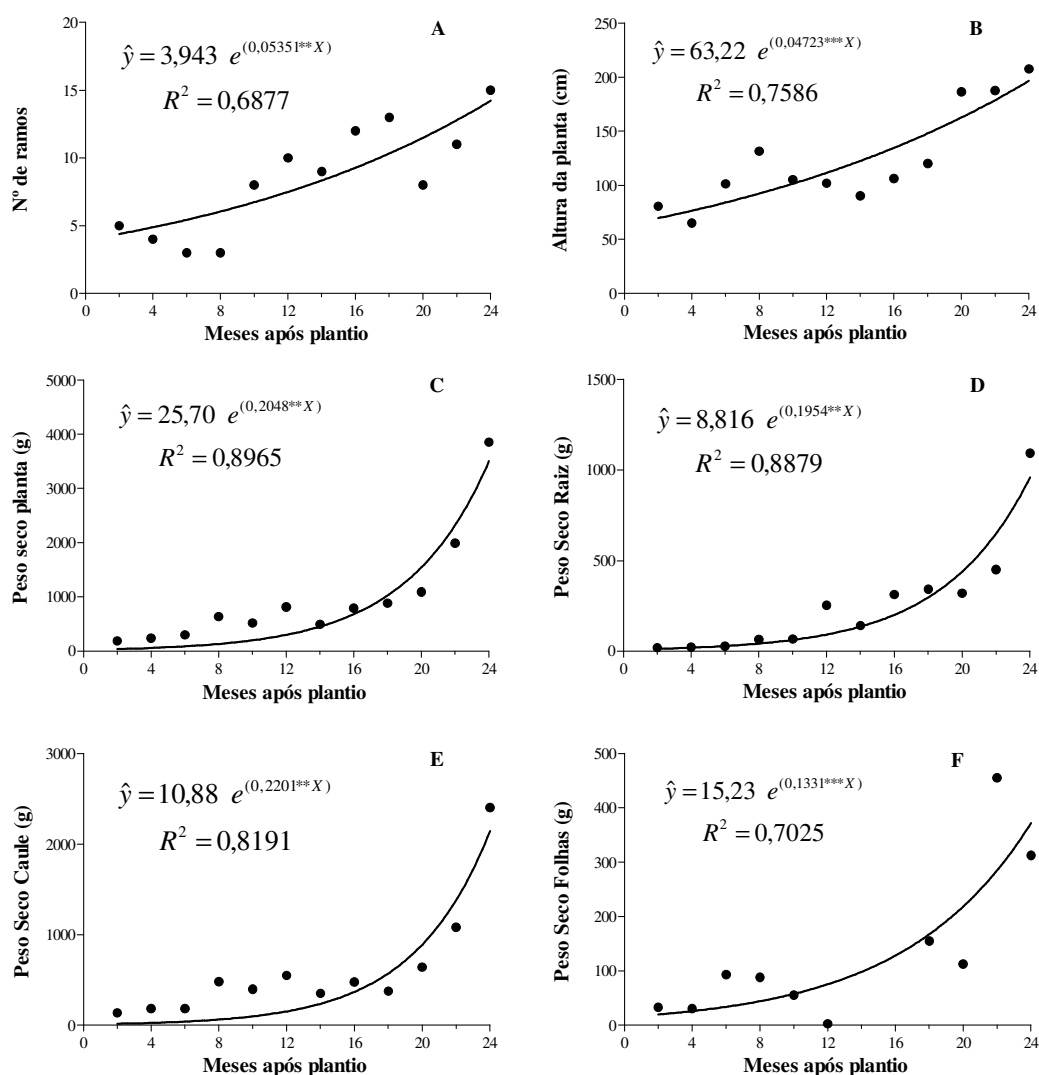
Em relação ao ajuste de regressão para os dados avaliados, observou-se que todos os ajustes de regressão significativos foram para o modelo exponencial. A idade fenológica justifica o modelo de equação encontrado para todos os parâmetros de avaliação. De acordo com Magalhães (1985) citado por Peixoto et al. (2011), as fases de crescimento de uma planta ou de qualquer outro organismo vivo podem ser resumidas na Figura 8, e representam as modificações no tamanho, na massa ou no volume desse organismo, ou de qualquer órgão dele, em função do tempo. Pode-se distinguir neste tipo de curva, uma fase inicial de crescimento lento, passando posteriormente a uma fase exponencial e, em seguida, a uma de crescimento linear e um no período de crescimento lento, com a paralisação eventual do processo.



**Figura 8.** Curva ilustrativa do crescimento sigmoideal de uma planta (Adaptado de Peixoto et al., 2011).

A última coleta realizada no experimento as plantas estavam com idade de 2 anos de transplântio, idade considerada “jovem” para a planta de pinhão manso, uma vez que sua idade de produção plena, é considerada a partir do quarto ano de cultivo (Heller, 1996; Saturnino et al., 2005; Achten et al., 2010).

Na Figura 9 são apresentados os ajustes de regressão para os parâmetros biométricos e massa seca dos órgãos vegetativos das plantas de pinhão manso avaliados durante dois anos.



**Figura 9.** Número de ramos (A), altura de planta (B), peso seco de planta (C), peso seco de raiz (D), peso seco de caule (E) e peso seco de folhas de pinhão manso em função do tempo. \*\*\*, \*\* significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Em relação ao número de ramos, durante o período de dois anos de avaliação, observou-se que até a última avaliação, o número de ramos aumentou, tendo ajuste de regressão exponencial para essa variável (Figura 9A). No presente trabalho foi realizada uma poda a 40cm de altura para uniformizar as plantas no início do experimento, de acordo com Behera et al. (2010), manejo com poda para uniformizar as plantas de pinhão manso proporciona maior desenvolvimento de ramos e também melhora de maneira geral a arquitetura da planta. Além disso, a planta do pinhão manso segue a arquitetura típica de diversas euforbiáceas, a primeira inflorescência é cimeira e assim que ela começa a crescer dois novos ramos ou módulos desenvolvem-se a partir da primeira inflorescência, a qual passa, então a ser axilar. A gema apical de cada módulo secundário vai-se transformar na inflorescência cimeira secundária, a partir da qual se desenvolverão dois módulos terciários, e assim sucessivamente. Dessa forma, o número de ramificações tende a ter uma progressão geométrica (Saturnino et al., 2005).

A altura da planta atingiu 2 metros aos dois anos de idade (Figura 9B). Saturnino et al. (2005) relatam que essa planta atinge em média alturas entre 3 e 5 metros, podendo chegar até 12 metros. Santos et al. (2010) avaliando fenologia e crescimento do pinhão manso, relataram que aos 21 meses de idade, a altura média das plantas foi de 147 cm. Outros autores também relataram respostas semelhantes quanto ao crescimento de pinhão manso (Ginwal et al. 2004; Rao et al., 2008; Gohil e Pandya, 2009; Laviola et al., 2011), de acordo com esses autores, o parâmetro de altura da planta pode ser usado na estimação de herdabilidade genética da planta contribuindo na seleção de populações melhoradas.

A planta de pinhão manso atingiu nos 24 meses de idade, 3,8kg de massa seca total (Figura 9C). Esse ganho de massa seca total observado até a última avaliação se justifica pelo fato da cultura na época não ter atingido idade de produção plena, que é por volta do quarto ano de idade (Saturnino et al., 2005; Heller, 1996).

Os dados de massa seca da raiz, do caule e das folhas (Figura 9D, Figura 9E, Figura 9F) também apresentaram incrementos, sendo a idade fenológica a justificativa mais plausível para esse comportamento (Saturnino et al., 2005; Heller, 1996).

A raiz do pinhão manso, em função da forma de propagação da planta, pode apresentar diferenças quanto ao seu crescimento e desenvolvimento. No presente trabalho as mudas foram produzidas via sementes em sacos plásticos, conforme descrito no material e métodos. Na literatura encontram-se controvérsias em relação ao tipo de propagação da planta e sua respectiva resistência a estresse hídrico. Severino et al. (2007) e Severino et al. (2011) destacaram que plantas propagadas por sementes produzem mais raízes, fixam melhor no solo, já àquelas que são propagadas por estacas não desenvolvem um sistema radicular normal, possuindo somente raízes finas e superficiais, sem capacidade de aprofundamento no solo. Alvez et al. (2008), relatam que o pinhão manso possui um sistema radicular pouco desenvolvido, enquanto plântulas e à medida que a planta vai se desenvolvendo, emitindo mais folhas, ela elege uma raiz para ser pivotante, a qual cresce e aprofunda-se rapidamente. Para os autores, plantas propagadas por sementes tendem a apresentar uma raiz pivotante mais profunda com um bom desenvolvimento, fixando a planta melhor ao solo e conferindo uma melhor resistência a seca. Porém, Batista (2012) concluiu que, plantas de pinhão manso apresentam resistência a deficiência hídrica e o meio propagativo recomendável para regiões sujeitas ao estresse hídrico prolongado é através de estacas, pois, além de originar plantas mais resistentes à seca, ainda possui rápida taxa de crescimento.

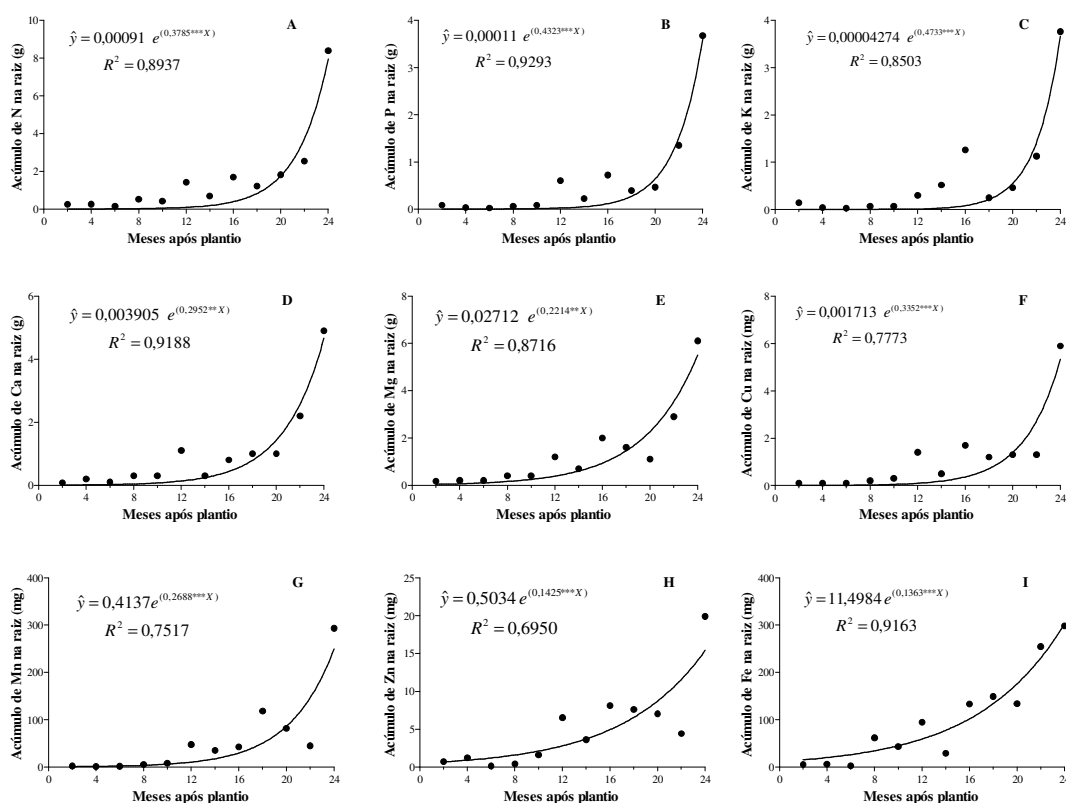
O caule do pinhão manso é o órgão que mais se desenvolve em termos de ganho de massa seca em função do tempo, em comparação aos demais órgãos da planta (Figura 9E). Por ser caducifólia, a planta tem como estratégia de sobrevivência a abscisão foliar em épocas desfavoráveis como estações de seca e temperaturas baixas (Saturnino et al., 2005; Heller, 1996; Kurihara et al. 2011). Em função disso, ocorre de tal forma, uma remobilização de nutrientes e água para o caule, onde o mesmo expressa toda essa mobilização metabólica da planta através do seu alargamento, ganho de massa seca (Figura 9E) e acúmulo de nutrientes (Figura 6). Segundo Lüttge (2008), as plantas da família do pinhão manso, Euforbiáceas, podem apresentar caule com atividade fotossintética ativa, podendo ter o metabolismo intermediário entre C3 e CAM, enquanto nas folhas tem uma ativa atividade fotossintética C3, o caule apresentaria-se com uma atividade fotossinteticamente ativa do tipo CAM.

Corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho, Kurihara et al. (2011), concluem que o acúmulo de matéria seca de caule está associado à altura de plantas, diâmetro de caule e copa e número de ramos, conforme modelo exponencial de regressão (Figura 9E).

Para massa seca das folhas, mesmo com a queda das folhas detectadas nas coletas 14 e 16, foi possível obter o ajuste de regressão exponencial para essa variável (Figura 9E), divergindo dos resultados do presente trabalho, Kurihara et al. (2012) relataram que a massa

seca das folhas apresentaram tendência de paralização no acúmulo de massa seca em função da queda das mesmas num dado período de tempo. Vale lembrar que a cultura do pinhão manso apresenta distintas respostas de crescimento e desenvolvimento no campo em função das condições edafoclimáticas do mesmo (Singh et al., 2013).

Na Figura 10 são apresentados os ajustes de regressão para o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e Fe nas raízes de pinhão manso. Os ajustes para todos os nutrientes apresentaram o modelo exponencial para explicar os dados analisados. O ganho de massa seca está diretamente relacionado com o acúmulo do nutriente no órgão vegetativo analisado. Avaliando-se os valores dos teores de nutrientes, mesmo havendo flutuações, como no caso dos micronutrientes (Figura 10), o ganho de massa seca da raiz proporcionou um incremento exponencial significativo no acúmulo de todos os nutrientes analisados.

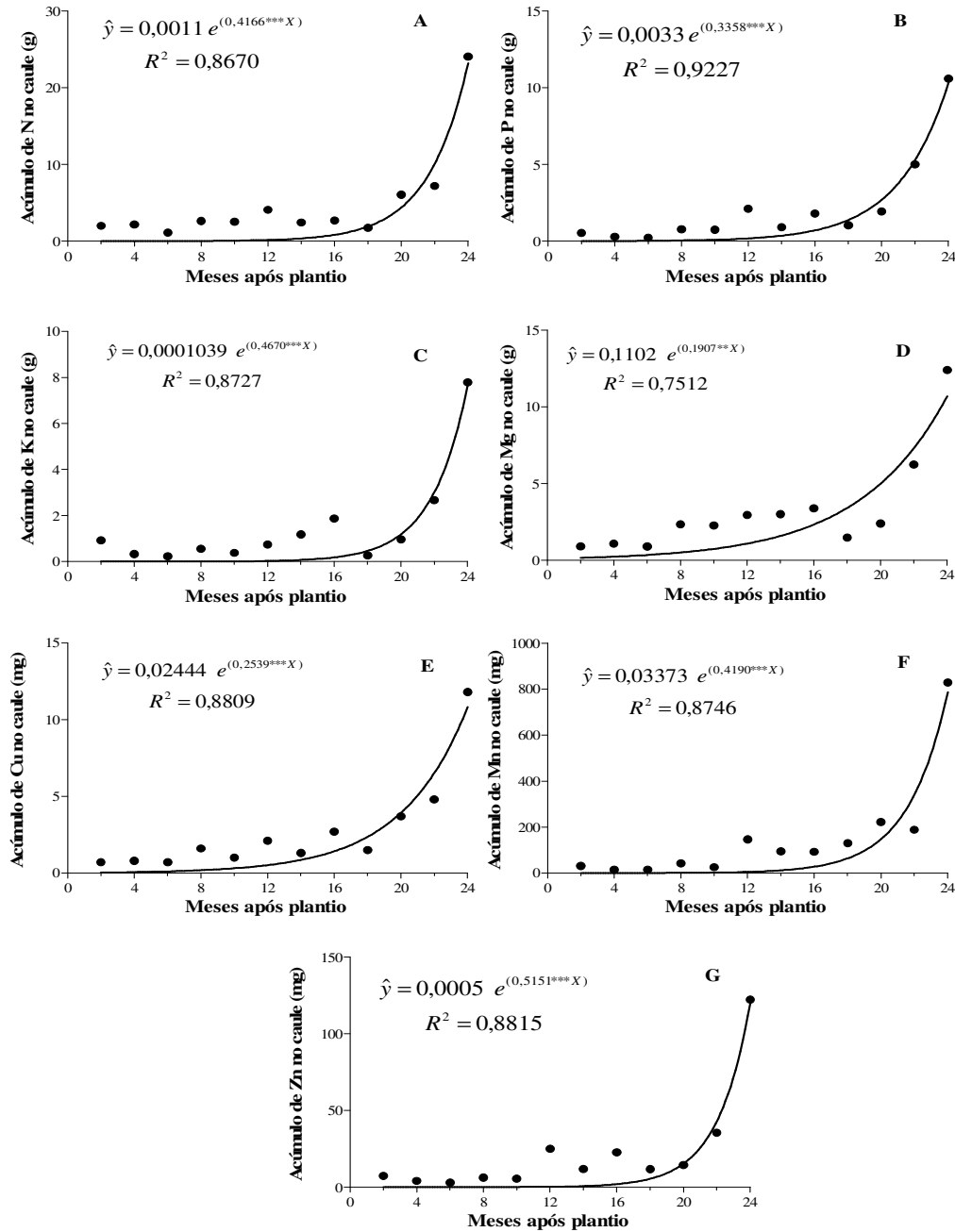


**Figura 10.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) nas raízes de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Em relação ao acúmulo de nutrientes no caule de pinhão manso, dos nutrientes analisados, apenas o Ca e Fe não ajustaram curva de regressão, que tiveram valores médio no acúmulo de 28,2g caule<sup>-1</sup> e 55,1mg caule<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os demais nutrientes, assim como para raiz, os ajustes de regressão foram do tipo exponencial (Figura 11). Na folha, o acúmulo de nutrientes teve como ajustes de regressão os nutrientes N, P, K, Cu, Mn, Zn e Fe (Figura 12). O Ca e Mg tiveram valores médios de acúmulo de 9,9 e 11,9g folha<sup>-1</sup>, respectivamente.

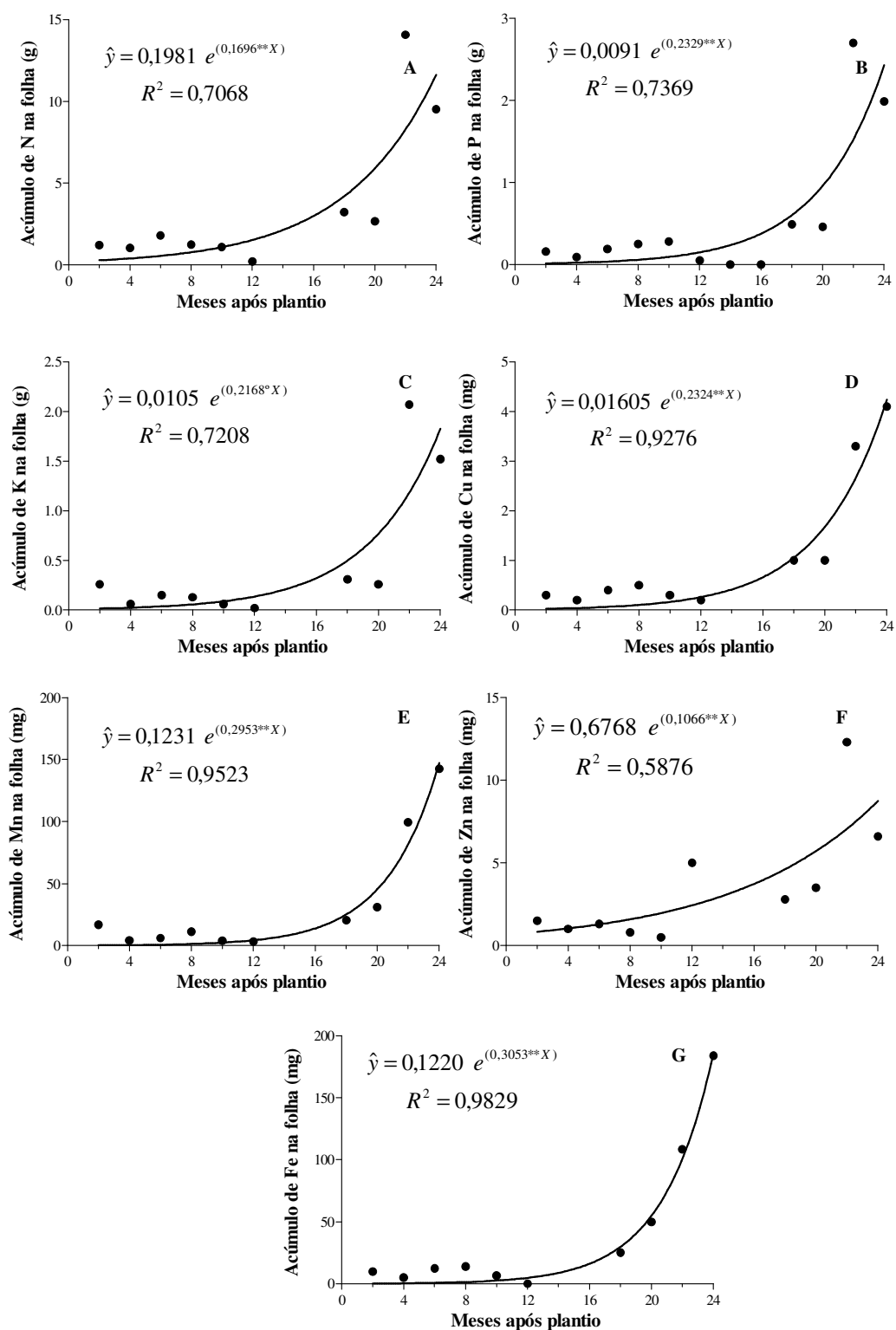
O acúmulo de nutrientes na planta teve ajustes de regressão para todos os nutrientes analisados. Para todos os nutrientes o modelo de regressão ajustado foi o exponencial (Figura 13).

Assim como para o acúmulo de nutrientes nas raízes, o ganho de massa seca total da planta justifica os ajustes de regressão para o acúmulo total na planta dos nutrientes analisados.

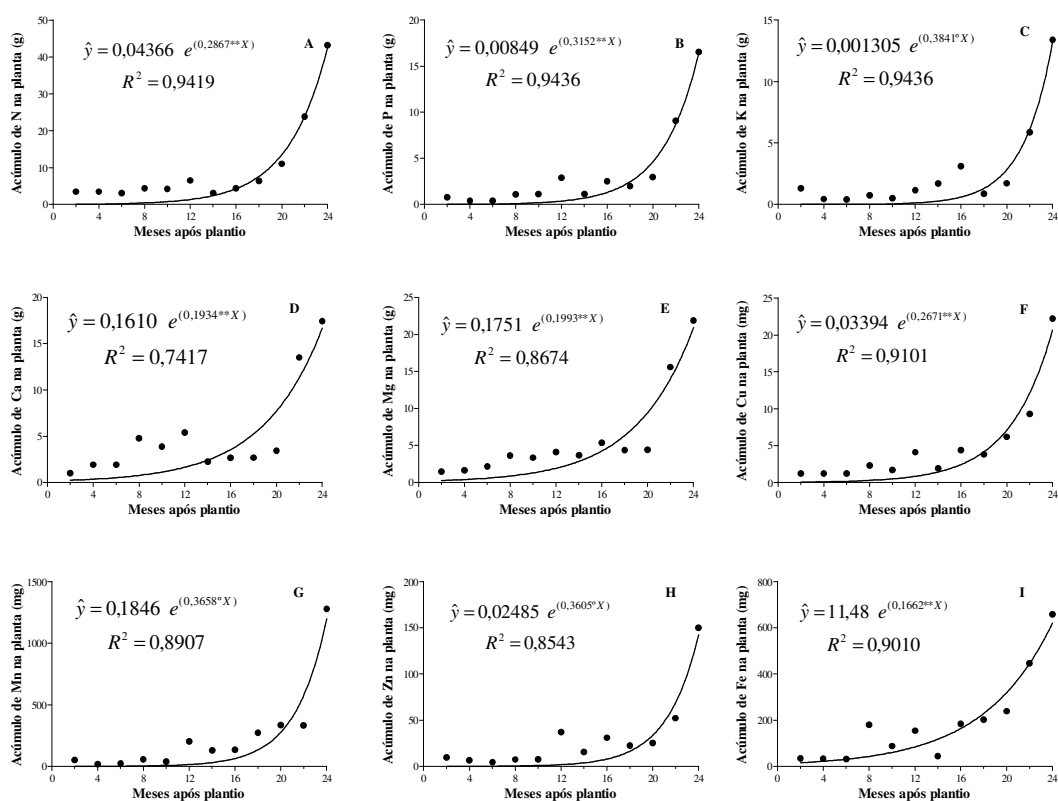


**Figura 11.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), magnésio (D), cobre (E), manganês (F) e zinco (G) no caule de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.





**Figura 12.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cobre (D), manganês (E), zinco (F) e ferro (G) nas folhas de pinhão manso. \*\*\*, \*\*, ° significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.



**Figura 13.** Acúmulo em função do tempo, de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E), cobre (F), zinco (H), manganês (G) e ferro (I) nas plantas de pinhão manso. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Observa-se que para o N acumulado na planta (Figura 13A), na última coleta realizada, 06/2011, o valor chegou a  $40\text{g planta}^{-1}$ , sendo que desse valor, mais de 50% corresponde ao acúmulo no caule (Figura 6A). Kurihara et al. (2012) encontraram aos 2 anos e 3 meses de plantio de pinhão manso,  $48\text{g planta}^{-1}$  de N, considerando apenas a parte aérea. Já Santos Neto (2011) avaliando parte aérea de pinhão manso aos dois anos de idade, destacou que o acúmulo de N na planta se concentrava em sua maior parte no tronco e ramos das plantas, ficando folhas e frutos com uma proporção muito inferior para esses nutrientes.

Avaliando-se o K e P, na última coleta realizada, as plantas acumularam 13 e  $16\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente (Figura 13B e Figura 13C). O acúmulo de Ca e Mg, foi de 166 e  $209\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente (Figura 13D e Figura 13E). Kurihara et al. (2012) encontraram respostas distintas quanto ao acúmulo de nutrientes em plantas de pinhão com 2,3 anos de idade, de acordo com os autores, a ordem de acúmulo de macronutrientes, considerando apenas a parte aérea, foi  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ . No presente trabalho, vale ressaltar que, a participação na massa seca total da planta pelas raízes ficaram próximas à 30%, ou seja, se os autores Kurihara et al. (2012) tivessem realizado as análises nas raízes, essa ordem apresentadas por eles poderia ser diferente, uma vez que os teores de nutrientes foram significativamente distintos entre as partes da planta (Tabela 6).

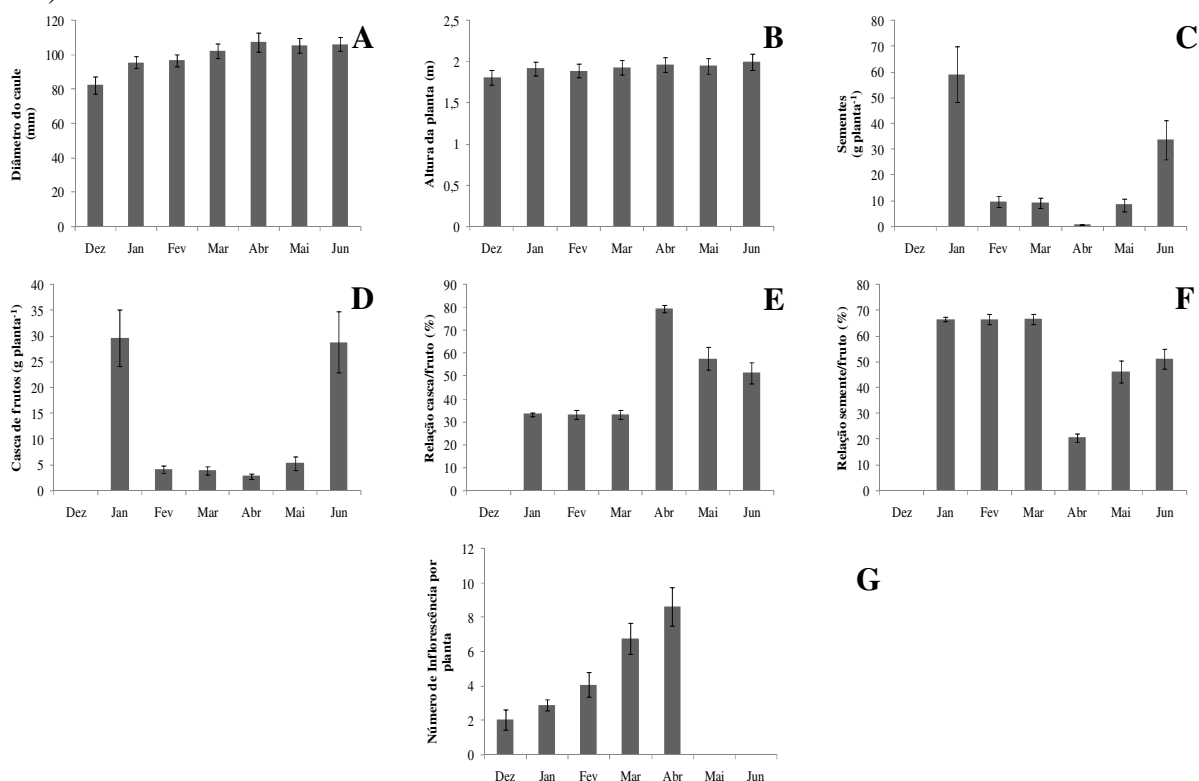
Para os micronutrientes, o Mn apresentou maior demanda pela planta até os dois anos de idade, com um acúmulo de  $1278\text{mg planta}^{-1}$  na última coleta realizada (Figura 13G). O acúmulo do Fe, Zn e Cu, foram respectivamente de, 675, 150 e  $22\text{mg planta}^{-1}$  (Figura 13F, Figura 13H e Figura 13I). Kurihara et al. (2012) encontraram a seguinte ordem de acúmulo de micronutrientes  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$  nas plantas de pinhão manso. Mesmo avaliando

somente a parte aérea das plantas, os resultados observados pelos autores corroboram com os encontrados no presente trabalho.

A exigência de macronutrientes pelas plantas de pinhão manso até dois anos de transplântio, nas condições do presente trabalho, segue conforme a ordem  $Mg > Ca > N > P \geq K$ , com extração máxima de 209,1; 166,0; 40,8; 16,0 e 13,0g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Já para os micronutrientes, a exigência pelas plantas segue a ordem  $Mn > Fe > Zn > Cu$ , com extração máxima de 1278,1; 657,1; 149,7 e 22,2mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 3.3.2 Estádio nutricional da folha e exportação de nutrientes pelos frutos

Com relação ao diâmetro do caule e à altura das plantas não houve grande variação, observou-se aumento pouco expressivo durante o período avaliado (Figura 14A e Figura 14B).



**Figura 14.** Valores de diâmetro do caule (A); altura da planta (B); peso de sementes por planta (C); peso de casca dos frutos por planta (D); relação casca/fruto (E); relação sementes/fruto (F); e número de inflorescência por planta (G), das plantas de pinhão manso coletados durante o período de produção de dezembro de 2011 a junho de 2012. \*Barra de erro padrão da média dos dados.

Em relação ao peso das sementes e cascas dos frutos de pinhão manso (Figura 14C e Figura 14D), observa-se que nos meses de janeiro e junho foram os que mais produziram. A presença das chuvas e número de inflorescência anteriormente, respectivamente, podem ter sido a causa desse comportamento. Foi observado um aumento significativo na incidência de inflorescências no período compreendido entre dezembro a abril e um decréscimo em maio e junho proporcional ao período estimado do desenvolvimento fenológico no tocante à floração da planta em estudo (Figura 14G). Esse aumento de inflorescências é de importância fundamental para a produção por planta e conseqüentemente para a produtividade da cultura em diversas condições de cultivo (Drumond et al., 2010).

A relação casca/fruto e sementes/fruto são apresentadas nas Figura 14E e Figura 14F, segundo Saturnino et al., (2005); Dias et al., (2007); Achten et al., (2010); Heller, (1996) cada fruto de pinhão manso contém três sementes, que contém, em média, 66% de cascas. Contrariando essa afirmação foi observado um percentual de peso de sementes por frutos em média de 65% - logo as cascas correspondem à apenas 35% do fruto em média. Evidenciando-se assim um ponto positivo levando em consideração que esse percentual tem relação direta com a produtividade da planta. Porém, essa resposta se alterna nos meses de abril e maio, onde a proporção de casca é maior que a de sementes, essa variação pode ter ocorrido em função da baixa precipitação (Figura 2A), onde os frutos presentes não tiveram o mesmo desenvolvimento das sementes de janeiro, por exemplo.

A posição da folha no ramo influenciou significativamente os teores de nutrientes no tecido foliar de plantas de pinhão-manso, com exceção do macronutriente Ca. O estágio fenológico do ramo ocasionou diferenças significativas nos nutrientes N, Ca, Mg, Cu, Mn e Fe (Tabela 7 e Tabela 8). Houve interação significativa entre os dois fatores estudados; entretanto, apenas para os teores foliares do macronutriente Mg e micronutrientes Mn e Fe. Lima et al. (2011b) encontraram interações entre posição da folha e estágio fenológico apenas para os micronutrientes Cu e Fe e os demais nutrientes apresentaram diferença significativa em relação aos seus teores no tecido foliar.

**Tabela 7.** Teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) determinados no tecido foliar de plantas de pinhão manso colhidos em folhas coletadas das posições (3<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup>) de ramos vegetativos (RV) e frutíferos (RF).

Posição Folha	RV RF		RV RF		RV RF		RV RF		RV RF		RV RF			
	N		Média		P		Média		K		Média			
3 <sup>a</sup>	18,2	18,7	18,5A	4,0	4,1	4,0A	5,3	5,2	5,3A	8,6	8,8	8,7A	3,0Aa	3,1Ba
7 <sup>a</sup>	17,0	18,1	17,5B	3,9	3,7	3,8B	4,9	4,7	4,8B	8,6	8,8	8,7A	3,1Ab	3,4Aa
Média	17,6b	18,4a		3,9a	3,9a		5,1a	5,0a		8,6b	8,8a		-	-

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, dentro do mesmo nutriente, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 10% de probabilidade.

**Tabela 8.** Teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) determinados no tecido foliar de plantas de pinhão manso colhidos em folhas coletadas das posições (3<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup>) de ramos vegetativos (RV) e frutíferos (RF).

Posição Folha	RV RF		Média	RV RF		RV RF		Média	RV RF	
	Cu			Mn		Zn			Fe	
3 <sup>a</sup>	5,7	6,8	6,3A	97,9Aa	83,5Bb	52,0	53,4	52,7A	200,2Ba	195,1Aa
7 <sup>a</sup>	5,0	5,4	5,2B	95,7Ba	95,2Aa	50,5	48,8	49,6B	214,6Aa	176,8Bb
Média	5,4b	6,1a		-	-	51,2a	51,1a		-	-

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, dentro do mesmo nutriente, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 10% de probabilidade.

Os teores foliares de N apresentaram variações significativas em função da posição de coleta da folha e estágio fenológico da mesma, sendo os maiores teores foliares nas folhas colhidas da posição 3, e no estágio fenológico com ramos com inflorescência (Tabela 7). A alta mobilidade do nitrogênio pelo floema (Epstein e Bloom, 2006; Marschner, 2002), pode atribuir essas variações quanto à sua translocação das folhas maduras para as jovens, para as inflorescências, e, preferencialmente, para os frutos. Resultados semelhantes foram descritos por Lima et al. (2011a; 2011b) e os mesmos destacaram que para predição do estágio

nutricional de N para a cultura do pinhão manso, a coleta da folha em qualquer posição se torna válida, esses resultados são corroborados pelos encontrados no presente trabalho.

Os teores foliares de P se comportaram de maneira semelhante ao N em relação à posição da folha, com maiores teores na terceira posição, porém, não diferindo quanto ao seu estágio fenológico (Tabela 7). Lima et al. (2011a; 2011b) encontraram maiores teores foliares de P em folhas mais jovens, afirmando ainda que com o avanço da idade da folha, há uma decréscimo significativo dos teores de P a partir da quinta posição. Em relação ao estágio fenológico, os mesmos autores encontraram maiores teores de P em ramos vegetativos.

Assim como o N, o P apresenta alta mobilidade pelo floema e pode ser remobilizado pelas plantas, translocando-se de tecidos maduros para órgão preferenciais, como folhas jovens, inflorescências e frutos (Epstein e Bloom, 2006; Araújo e Machado, 2006).

Os teores foliares de K apresentaram comportamento igual ao do P, onde os maiores teores foram nas folhas jovens, ou seja, terceira posição, e não apresentaram diferença quanto ao estágio fenológico do ramo (Tabela 7). Lima et al (2011a; 2011b) também não encontram diferença significativa para teores de K nas folhas quanto ao estágio fenológico das mesmas. Os autores encontraram altos teores em folhas jovens, porém, esses teores altos também foram observados em folhas na posição 10, divergindo com os resultados encontrados no presente trabalho. Corroborando com os autores, a presença ou ausência de flores nos ramos não influenciou o teor de K, significando que, para este nutriente, o estágio fenológico do ramo não influencia os resultados da diagnose foliar do pinhão manso.

A sua alta mobilidade nos tecidos vegetais, seja pelo xilema ou pelo floema, faz do K, assim como o N e o P, suprir órgãos preferenciais como folhas jovens, flores e frutos em caso de deficiência (Meurer, 2006).

Não houve diferença para os teores de Ca quanto à posição das folhas, porém, o estágio fenológico apresentou diferença, onde os ramos com inflorescência apresentaram maiores teores (Tabela 7). Lima et al. (2011a; 2011b) relataram resultados opostos aos encontrados no presente trabalho, onde os maiores teores de Ca foram encontrados nas folhas maduras e nos ramos sem inflorescência, para os autores, os menores teores de Ca nos ramos com inflorescência podem estar atrelado a translocação desse nutriente para as flores, apesar de sua baixa mobilidade (Epstein e Bloom, 2006). O Ca é considerado um nutriente pouco móvel na planta por ter suas funções ligadas à composição estrutural de macromoléculas e relacionadas à sua capacidade de coordenação, o que confere ligações estáveis mais reversíveis, principalmente nas paredes celulares e membranas plasmática, porém, na folha, o Ca pode ser transportado no floema para tecidos novos, estando o movimento atrelado à atividade metabólica (Vitti et al., 2006).

O Mg apresentou interação entre estágio fenológico das folhas e posição das mesmas (Tabela 7). A folha da terceira posição não diferiu quanto ao estágio fenológico, porém, nos ramos com inflorescência, a folha da terceira posição apresentou teor menor que a folha da sétima posição, nos ramos vegetativos não houve diferença para o teor de Mg quanto a posição das folhas (Tabela 7). Lima et al. (2011a; 2011b) encontraram resultados semelhantes, onde relatam que não observaram redução dos teores foliares de Mg devido ao aparecimento das flores, possivelmente porque a demanda por este nutriente não ser tão alta nas estruturas reprodutivas quanto para N e P. Segundo os autores, a padronização do estágio fenológico do ramo para a coleta da folha diagnóstico não é necessária para avaliar o estágio nutricional quanto a este nutriente.

Comumente, os teores de Mg no tecido foliar aumentam com a idade da folha enquanto os teores de N, P e K diminuem sensivelmente.

Quanto aos efeitos da posição da folha e do estágio fenológico do ramo sobre os teores de Mn e Fe, constatou-se interação entre os dois fatores. Em referência ao Cu, observa-se

efeito isolado para o fator posição da folha no ramo e tipo de ramo, já para o Zn, observa-se efeito isolado apenas do fator posição da folha no ramo (Tabela 8).

Os teores de Mn obtidos no tecido foliar oriundos de ramos vegetativos, colhidos em diferentes posições no ramo, apresentaram os maiores teores deste nutriente na terceira folha ( $97,9\text{mg kg}^{-1}$ ) e para os ramos com inflorescência, a sétima folha apresentou maior teor ( $95,2\text{mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 8). O Mn é considerado como elemento pouco móvel na planta (Dechen e Nachtigall, 2006). Para os ramos com inflorescência, essa teoria se aplica, uma vez que a sétima folha apresenta maior teor que a terceira folha. Nos ramos vegetativos, esses resultados se invertem, onde a terceira folha apresenta maior teor de Mn que a sétima folha (Tabela 8). Diferentemente dos resultados encontrados no presente trabalho, Lima et al., (2011a; 2011b) não encontraram diferença quanto ao tipo de ramo e os maiores teores de Mn foram observados nas folhas maduras de pinhão manso.

Quanto ao Fe, o comportamento foi inverso ao exibido pelo Mn, onde, ao comparar as posições da folha, para o ramo vegetativo, o maior teor foi observado na sétima folha ( $214,6\text{ mg kg}^{-1}$ ), já no ramo com inflorescência, a terceira folha apresentou o maior teor ( $195,1\text{ mg kg}^{-1}$ ), e dentro de cada posição da folha, a terceira folha não apresentou diferença significativa para tipos de ramos, já na sétima folha, os ramos vegetativos foram superiores (Tabela 8). Corroborando com os resultados encontrados, Lima et al. (2011b) encontraram flutuações nos resultados analisados para os teores de Fe nas folhas de pinhão manso, e não puderam eleger a posição da folha no ramo ou o tipo de ramo a ser amostrado para amostragem foliar do pinhão-manso para este nutriente.

Os teores de Cu foram, de forma isolada, diferente significativamente para tipo de ramo e posição das folhas, onde as folhas do ramo com inflorescência e a terceira posição apresentaram os maiores teores (Tabela 8). Lima et al. (2011b) encontraram maiores teores de Fe em folhas jovens, porém não distinguiram os teores para tipos de ramo. De acordo com Dechen e Machtigall (2006), considera-se que o Cu não seja prontamente móvel na planta, embora existam resultados que mostram translocação de folhas velhas para novas, assim como os resultados do presente trabalho (Tabela 8).

Para os teores de Zn, apenas a posição das folhas foram diferentes estatisticamente, onde a terceira folha apresentou maiores teores (Tabela 8). Há divergência quanto a mobilidade do Zn na planta, alguns autores consideram o Zn muito móvel, enquanto outros consideram-no de mobilidade intermediária (Dechen e Machtigall, 2006). Com os resultados no presente trabalho, pode-se inferir que o Zn é um micronutriente móvel para a cultura do pinhão manso, resultados semelhante foram relatados por Lima et al. (2011a), onde os autores também não esperavam que esse nutriente apresentasse tal comportamento.

A distribuição dos teores de nutrientes na casca dos frutos de pinhão manso e nas sementes pode ser verificada na Tabela 9. Comparando esses teores, percebe-se que as sementes apresentam maiores teores de N, P, Cu e Zn, já a casca apresenta os maiores teores de K, Ca, Mg, Mn e Fe. Santos Neto (2011) avaliando teores de macro e micronutrientes nas cascas e sementes de pinhão manso encontrou resultado semelhante em relação a maiores concentrações nas partes analisadas, porém os valores absolutos apresentados pelo autor distinguem para a maioria dos valores apresentados no presente trabalho.

Os teores de nutrientes nas sementes e cascas podem variar em função de várias interferências, dentre elas, a estação climática, a altitude, a própria variabilidade genética existente na cultura do pinhão manso, idade fenológica, entre outras (Contran et al., 2013; Singh et al., 2013; Santos Neto, 2011;).

É importante ter o conhecimento sobre os teores de nutrientes em cada parte do fruto de pinhão manso, pois a ciclagem dos mesmos está diretamente ligada no manejo dado em reutilização dos “co-produtos” da cadeia produtiva do biodiesel, como as cascas e tortas de oleaginosas oriundas do esmagamento das sementes (Contran et al., 2013).

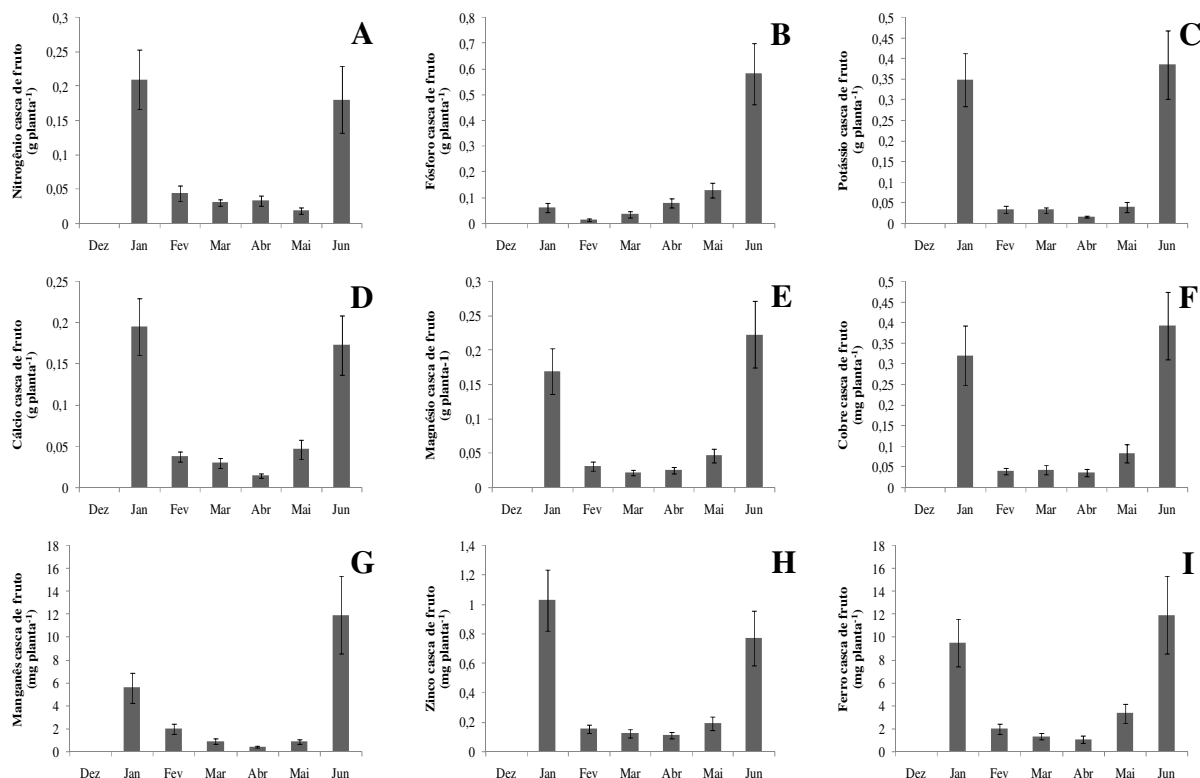
Além disso, a exportação de nutrientes está diretamente ligada à quantidade dos mesmos presentes na parte que é retirada do campo, no caso do pinhão manso, as sementes. Conhecendo os que se extrai do sistema, tem-se um aporte de informações que poderão indicar o melhor manejo para corrigir as possíveis deficiências de nutrientes (Contran et al., 2013; Laviola e Dias, 2008).

**Tabela 9.** Teores de nutrientes determinados nas cascas e sementes dos frutos de plantas de pinhão manso.

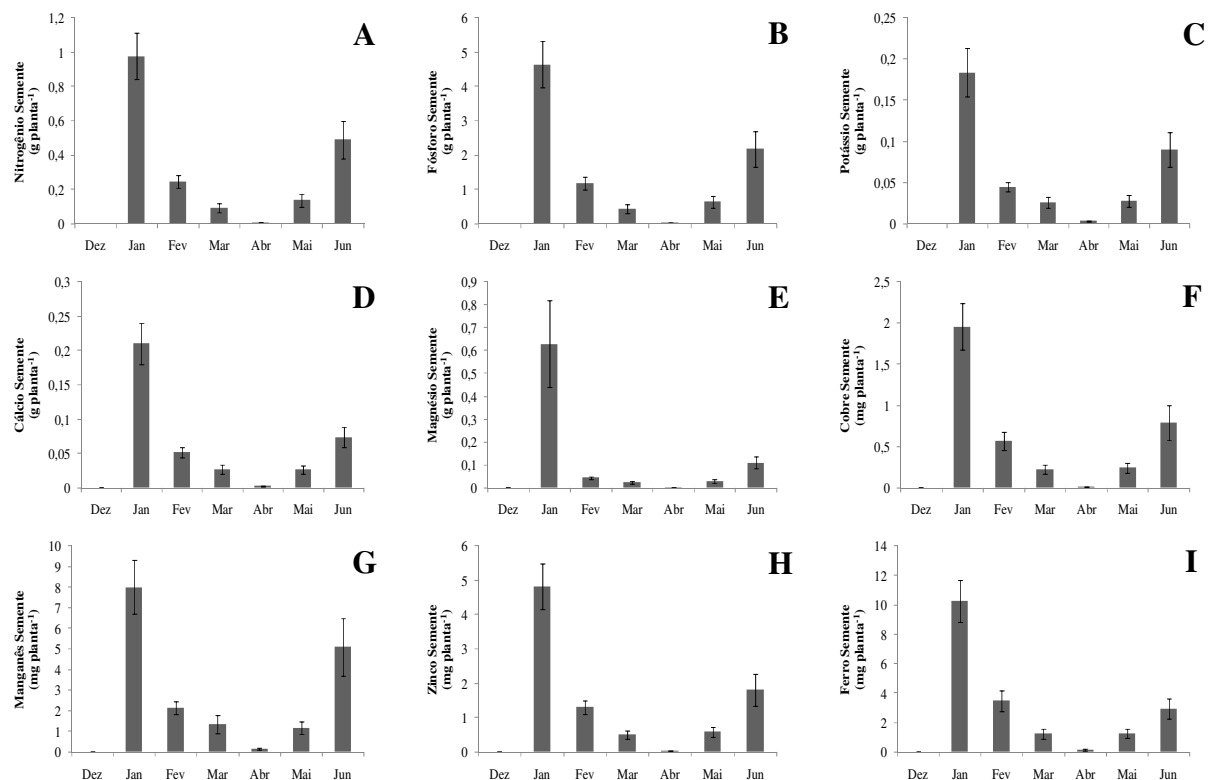
Variável	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
	.....g kg <sup>-1</sup> .....					.....mg kg <sup>-1</sup> .....			
Casca	7,6B	11,5B	9,7A	8,7A	6,6A	9,9B	227,0A	31,7B	342,2A
Sementes	12,1A	55,8A	2,5B	2,6B	3,8B	20,7A	116,5B	50,9A	106,3B

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 10% de probabilidade.

Nas Figura 15 e Figura 16 são apresentados os valores acumulados dos macro e micronutrientes analisados nas cascas e sementes, respectivamente, do pinhão manso durante o período de avaliação do experimento. Observa-se que os meses de janeiro e junho foram os meses com maiores valores acumulados de nutrientes, tanto para casca (Figura 15), quanto para semente (Figura 16). Essa resposta está diretamente ligada à quantidade de frutos coletados (Figura 14C e Figura 14D).



**Figura 15.** Acúmulo de nitrogênio (A); fósforo (B); potássio (C); cálcio (D); magnésio (E); cobre (F); manganês (G); zinco (H) e ferro (I) nas cascas dos frutos de pinhão manso coletadas durante o período de produção de janeiro a junho de 2012. \*Barra de erro padrão da média dos dados.



**Figura 16.** Acúmulo de nitrogênio (A); fósforo (B); potássio (C); cálcio (D); magnésio (E); cobre (F); manganês (G); zinco (H) e ferro (I) nas sementes de pinhão manso coletadas durante o período de produção de janeiro a junho de 2012. \*Barra de erro padrão da média dos dados.

A variação da produção dos frutos do pinhão manso pode estar ligada a fatores climáticos, dentre eles, precipitação, temperatura, radiação (Figura 2), além da própria variabilidade genética da cultura (Singh et al., 2013; Maes et al., 2009; Achten et al., 2008). Laviola et al., (2011a; 2011b) avaliando acessos de pinhão manso, destacaram que a juvenilidade foi uma característica que apresentou o maior efeito direto (negativo) na produção de grãos no primeiro ano de avaliação. Mesmo com essa variação de produção de frutos no curto período de avaliação no presente trabalho, os resultados demonstraram que, para plantas com 30 meses de idade, dos frutos colhidos, são exportados maiores quantidades de N, P, Cu e Zn nas sementes de pinhão manso, e que nas cascas ficam maiores quantidades de K, Ca, Mg, Mn e Fe que também são exportados, porém, em função do manejo aplicado, as cascas podem retornar para o sistema como adubo, o que aumentaria a eficiência na ciclagem de nutrientes da cultura (Contran et al., 2013; Achten et al., 2008; Saturnino et al., 2005; Heller, 1996).



### 3.4 CONCLUSÕES

O pinhão manso apresenta a seguinte ordem em relação aos teores de nutrientes:  $N > Mg > Ca > K \geq P$ . O caule e a folha são os órgãos que apresentam os maiores teores de nutrientes.

Em relação aos micronutrientes, considerando apenas a parte aérea, ou seja, caule, folhas e frutos, os teores ficaram na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ . Ao considerar a raiz, essa ordem fica modificada nos dois primeiros micronutrientes, passando então o Fe na primeira colocação seguida pelo Mn.

Para a região onde o experimento foi implantado, baixa altitude e em solo de textura arenosa, o pinhão manso, com dois anos de transplântio, acumula macronutrientes na seguinte ordem:  $Mg > Ca > N > P \geq K$ . Para os micronutrientes, a ordem de acúmulo fica na seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ .

Para diagnosticar o estágio nutricional de plantas de pinhão manso, quanto a N, P, K, Ca, Cu, Zn e Fe, as folhas colhidas na posição 3 são mais adequadas.

Para os nutrientes Mg e Mn é mais apropriado amostrar folhas da posição 7.

O ramo com inflorescência é o mais indicado para retirar as folhas para diagnose nutricional de plantas de pinhão manso.

Em relação a exportação de nutrientes pelos frutos de pinhão manso, as sementes apresentaram maior exportação para os nutrientes N, P, Cu e Zn, já as cascas apresentaram maior exportação de K, Ca, Mg, Mn e Fe.

## **4. CAPÍTULO II:**

### **DESENVOLVIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE CORREÇÃO DO SOLO**

#### 4.1 RESUMO

A correção dos níveis tóxicos de alumínio e a adição de quantidade adequada de cálcio e magnésio são os principais objetivos da calagem nos solos de regiões tropicais. A saturação por bases está relacionada ao fornecimento de bases trocáveis em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas. Quanto ao pinhão manso, trabalhos na literatura em relação a demanda por correção do solo e adubação adequada ao desenvolvimento e crescimento dessa cultura ainda são escassos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial e produção da parte aérea e raiz do pinhão manso submetido a diferentes métodos de correção do solo e adubação com N-P-K. O experimento foi implantado na área experimental do departamento de solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ. O experimento foi montado no campo em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram determinados na seguinte ordem: Saturação por bases natural do solo (Saturação por bases inicial do solo - V%<sub>i</sub>); elevação para 50 V%; elevação para 75 V%; neutralização total do Al<sup>3+</sup> (Al<sub>0</sub>); neutralização do Al<sup>3+</sup> até 20 cm de profundidade (Al<sub>0-20</sub>) e neutralização do alumínio até 20 cm de profundidade mais aplicação de gesso (Al<sub>0-20+gesso</sub>). Para verificar o efeito da baixa fertilidade do solo, os tratamentos tiveram parcelas subdivididas com e sem adubação de N-P-K, sendo aplicados nos tratamentos com adubação 16 g de N; 40,3 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 32 g de K<sub>2</sub>O por planta através de solução nutritiva com os fertilizantes KNO<sub>3</sub>, MAP e KCl. As parcelas foram confeccionadas através da utilização de canos de PVC de 20 cm de diâmetro com 60 cm de altura. Cada parcela foi composta por uma planta de pinhão manso e com 5 repetições de cada totalizando 60 parcelas. Aos 90 dias após transplante, foram realizadas avaliações de altura da planta (cm) com auxílio de uma trena e diâmetro do caule (cm) com auxílio de um paquímetro. Após avaliação biométrica, foi coletada a parte aérea, sendo segmentadas em caule e folha. Para a coleta das raízes, os canos foram segmentados em cinco partes com 10 cm de altura, parte das amostras da primeira camada, ou seja, 10 cm de profundidade foram separadas para a caracterização morfológica e outra parte foi separada para determinação de matéria fresca e seca e posterior análises de N-P-K. Os parâmetros morfológicos do sistema radicular avaliados foram: comprimento total da raiz (cm), volume total da raiz (cm<sup>3</sup>) e volume de raiz ocupado por volume de solo (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). As diferentes formas de correção do solo associadas à adubação podem influenciar positivamente no crescimento inicial do pinhão manso. Os melhores métodos para correção da acidez do solo para a cultura do pinhão manso são elevação da saturação por bases para 50% e neutralização do alumínio. A gessagem se mostrou eficiente e pode ser também recomendada quando o solo apresentar baixos teores de Ca e Mg em profundidade no solo.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L.. Calagem. Alumínio

## 4.2 ABSTRACT

The correction of toxic levels of aluminum is adding adequate amount of calcium and magnesium are the main objectives of liming on soils of tropical regions. Base saturation is related to the supply of exchangeable bases at optimum levels for plant growth. As for physic nut in the literature regarding the demand for soil amendment, fertilization and appropriate development and growth of this crop are still scarce. The objective of this study was to evaluate the initial development and production of shoot and root of physic nut under different methods of liming and fertilization with NPK. The experiment was deployed in the experimental area of the soils department at the Institute of Agronomy UFRRJ. The field experiment was conducted in a completely randomized design. The treatments were determined in the following order: Saturation by natural soil base (Saturation by initial soil base - V%i); increase to 50%V; increase to 75%V; completely neutralize the  $Al^{3+}$  ( $Al_0$ ); neutralizing  $Al^{3+}$  up to 20 cm deep ( $Al_{0-20}$ ) and neutralization of aluminum up to 20 inches deep over application of gypsum ( $Al_{0-20+gypsum}$ ). To check the effect of low soil fertility treatments had split plots with and without fertilizer NPK, being applied in treatments with 16g of fertilizer N, 40.3g  $P_2O_5$  and 32g  $K_2O$  per plant through nutrient solution with  $KNO_3$ , KCl and MAP fertilizer. The plots were made by the use of PVC tubes 20cm in diameter and 60cm high. Each plot consisted of a plant physic nut and 5 repetitions of each totaling 60 installments. At 90 days after transplantation, evaluation of plant height (cm) were performed with the aid of a measuring tape and stem diameter (cm) with a caliper. After biometric evaluation was collected shoots, being segmented into stem and leaf. To collect the roots, the pipes were segmented into five parts with 10 cm high proportion of samples from the first layer, i.e., 10cm deep were separated for the morphological characterization and another part was separated for determination of fresh and drought and subsequent analysis of NPK. The morphological parameters of the root system were evaluated: Total root length (cm) Root total volume ( $cm^3$ ) and root volume occupied by the soil volume ( $cm^3 m^{-3}$ ). The different forms of correction associated with soil fertilizer can positively affect the initial growth of physic nut. That best methods for correction of soil acidity for the cultivation of physic nut are the base saturation rising up to 50% and neutralization of aluminum. The gypsum is efficient and can also be recommended when the soil has a low Ca and Mg level with depth.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L.. Liming. Aluminum

### 4.3 INTRODUÇÃO

O uso desenfreado de combustíveis fósseis vem sendo criticado severamente por órgãos de pesquisa e pela sociedade em geral. A busca por novas alternativas vem sendo pesquisada pelo mundo todo e o uso dos biocombustíveis é dado como alternativa mais viável para substituição ou diminuição dos combustíveis fósseis (Sujatha et al., 2008). O biodiesel é originado pelo esmagamento de grãos de oleaginosas que através de uma mistura catalítica com álcool gera-se o biodiesel e como co-produtos a glicerina e a torta (Alves e Serra, 2010).

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie pertencente à família das euforbiáceas, a mesma da mamona e seringueira, é um arbusto de crescimento rápido, caducifólio, que pode atingir mais de 5 m de altura. Os frutos são do tipo cápsula ovóide, com 1,5 a 3,0cm de diâmetro, trilocular, contendo via de regra três sementes, sendo uma semente por lóculo. As sementes têm de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1 a 1,3cm de largura, apresentam teor de óleo variando entre 33 e 38 % e representam entre 53 e 79 % do peso do fruto (Saturnino et al., 2005; Dias et al., 2007). É uma espécie amplamente distribuída em áreas tropicais e subtropicais e com potencial para a produção de biocombustível (Sujatha et al., 2008).

O uso do pinhão manso como fonte de matéria prima para produção de biodiesel no Brasil ainda é bastante limitada, devido às poucas áreas plantadas e pouco conhecimento técnico-científico dessa espécie. Há a necessidade de mais pesquisas sobre essa espécie, uma vez que, o seu comportamento no campo ainda é pouco conhecido (Laviola et al., 2007; Nery et al., 2009).

Sobre a exigência nutricional do pinhão manso, os estudos na literatura relatam que é uma cultura exigente em nutrientes, sendo o cálcio o de maior acúmulo em seus tecidos (Souza et al., 2011; Silva et al., 2009). Laviola e Dias (2008) relatam que o conhecimento sobre o comportamento do pinhão manso em solos corrigidos e adubados ainda são incipientes e preliminares, havendo a necessidade de mais estudos nessa vertente para obter as informações que direcionem o manejo da nutrição mineral dessa cultura, visando a sua máxima lucratividade.

A acidez do solo é reconhecida como um dos principais fatores que conduzem a baixa produtividade dos cultivos no país (Raij, 2011). Devido aos solos serem naturalmente ácidos em grande parte das regiões tropicais, a calagem é uma das práticas mais comuns e efetivas para aumentar a produção agrícola. O uso adequado de calcário é fundamental para aumentar a produção e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de produção por meio da economia em adubos cuja calagem promove melhor aproveitamento (Sousa e Lobato, 2004). No entanto, não existe ainda uma definição sobre o melhor método para determinar a necessidade de calagem, ou seja, a quantidade de corretivo a ser aplicada ao solo.

De acordo com Sousa et al. (2007), o cálculo da necessidade de calagem tem-se baseado, fundamentalmente, nos seguintes métodos: método da curva de incubação com  $\text{CaCO}_3$ ; método baseado no teor de alumínio trocável; métodos baseados no decréscimo de pH de soluções-tampão (SMP ou Woodruff); métodos baseados na correlação para determinar valor de pH, saturação por bases e, ou, matéria orgânica; e método para neutralizar a acidez trocável e elevar os teores de Ca e de Mg trocáveis. Muitos trabalhos relatam os efeitos benéficos da calagem para culturas anuais e perenes, resultando em aumentos importantes de produtividade (Titiran et al., 2010; Amabile et al., 2003; Fageira, 2001).

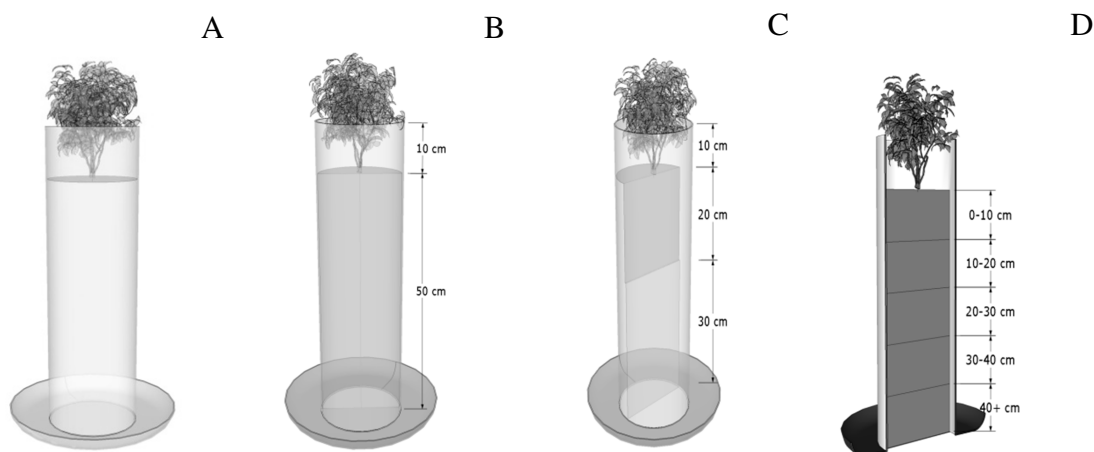
A correção dos níveis tóxicos de alumínio e a adição de quantidade adequada de cálcio e magnésio são os principais objetivos da calagem nos solos de regiões tropicais. Segundo Fageira (2001) a saturação por bases está relacionada ao fornecimento de bases trocáveis em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas. Quanto ao pinhão manso, trabalhos na

literatura em relação ao desenvolvimento e crescimento dessa cultura ainda são escassos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial do pinhão manso submetido a diferentes métodos de correção do solo e adubação com N-P-K.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ, em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram determinados na seguinte ordem: Saturação por bases natural do solo (Saturação por bases inicial do solo - V%<sub>i</sub>); elevação para 50 V%; elevação para 75 V%; neutralização total do Al<sup>3+</sup> (Al<sub>0</sub>); neutralização do Al<sup>3+</sup> até 20 cm de profundidade (Al<sub>0-20</sub>) e neutralização do alumínio até 20 cm de profundidade mais aplicação de gesso (Al<sub>0-20</sub>+gesso). Para verificar o efeito da baixa fertilidade do solo, os tratamentos tiveram parcelas subdivididas com e sem adubação de N-P-K, sendo aplicados nos tratamentos com adubação 16g de N; 40,3g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 32g de K<sub>2</sub>O por planta através de solução nutritiva com os fertilizantes KNO<sub>3</sub>, MAP e KCl. O fornecimento da adubação foi parcelada em cinco vezes, sendo fornecidas a cada quinze dias, 1/5 do total por planta, para evitar intoxicação por excesso de nutriente.

As parcelas foram confeccionadas através da utilização de canos de PVC de 20 cm de diâmetro com 60 cm de altura (Figura 17). Cada parcela foi composta por uma planta de pinhão manso e com 5 repetições de cada totalizando 60 parcelas.



**Figura 17.** Esquema de montagem dos vasos do experimento (A, B, C) e coleta seccionada do solo (D). Ilustrado por Ferrari, A. C.

O solo utilizado foi Cambissolo Háplico retirado na cidade de Pinheral-RJ. Após a coleta, o material foi destorroado e passado em uma peneira com malha de 4mm. Amostras desse material foram submetidas à análise química, de acordo com procedimentos analíticos descritos por Embrapa (1997) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Atributos químicos do Cambissolo Háplico de Pinheral - RJ.

Atributos químicos															
Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH <sub>água</sub>	Corg.	P	K	
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		1:2,5	%	mg L <sup>-1</sup>	
0,0	0,1	0,0	0,01	1,8	1,26	0,11	1,91	6	91,9	0	4,8	0,70	2	5	

Para determinar a quantidade de calcário a ser aplicado, foi utilizado o método IAC para elevação do grau de Saturação por Bases, e método da Embrapa para neutralização total do Alumínio disponível no solo. Em relação à dose de calcário para que elevassem a

saturação por bases para 50 e 75%, foram necessários 1,1 e 1,74Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a neutralização do alumínio foi necessário 3,32 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. O calcário utilizado apresentou PRNT de 76%. A dose de gesso foi calculada de acordo com Alvarez V. et al. (1999) sendo necessária a dose de 2,07 Mg ha<sup>-1</sup>.

Os corretivos foram aplicados no solo após seco e peneirado, que ficou em processo de incubação por um período de trinta dias na coluna de PVC (Figura 17), durante esse período o solo foi mantido a 100% na capacidade de campo. Para que não perdesse água por evaporação, os tubos de PVC foram tampados com lona presa com auxílio de anel de borracha.

Foram utilizadas sementes de pinhão manso do acesso UFRRJ-346, cedidas pelo laboratório de Recursos Genéticos do departamento de Fitotecnia da UFRRJ, elas foram previamente plantadas numa caixa contendo solo de um Planossolo Háplico, após atingirem um par de folhas definitivas expandidas, foram transplantadas com raiz nua para as colunas.

Aos 90 dias após transplante, foram realizadas avaliações de altura da planta (cm) com auxílio de uma trena e diâmetro do caule (cm) com auxílio de um paquímetro. Após avaliação biométrica, foi coletada a parte aérea, sendo segmentadas em caule e folha, sendo então lavadas em água destilada corrente, depois levada para estufa de circulação de ar forçada por 72 horas. Depois de seca, os materiais foram moídos em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório Solo Planta do departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ para a determinação de N, P, K, pelo método de digestão sulfúrica, de acordo com metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995).

Para a coleta das raízes, os canos foram segmentados em cinco partes com 10 cm de altura, parte das amostras da primeira camada, ou seja, 10 cm de profundidade foram separadas para a caracterização morfológica e outra parte foi separada para determinação de matéria fresca e seca e posterior análises de N-P-K, conforme descrito para parte aérea. Nas demais camadas, todas as raízes coletadas foram destinadas para a caracterização morfológica, onde todo o solo contendo o sistema radicular foi transferido para uma peneira de 20 mesh, sendo lavado com água corrente. Imediatamente após essa primeira lavagem, as raízes das plantas foram armazenadas em solução contendo ácido acetilsalicílico 10% para uma posterior e mais minuciosa limpeza, usando-se pinças e bandejas com água, para retirar pequenas impurezas mais aderidas às raízes que não foram descartadas na primeira lavagem.

Os parâmetros morfológicos do sistema radicular avaliados foram: comprimento total da raiz (cm), volume total da raiz (cm<sup>3</sup>) e volume de raiz ocupado por volume de solo (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). O sistema radicular foi avaliado pela análise de imagens, utilizando o programa WinRhizo Pro 2012b (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement) acoplado a um scanner EPSON Expression 10000XL, com definição de 300dpi.

Antes de lavar o solo das partes segmentadas para coleta das raízes, foi coletado uma pequena parte do solo para análises de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio disponíveis, de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis analisadas comparadas pelo teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Para realização das análises estatísticas, foi utilizado o programa SISVAR (Ferreira, 2008).



## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

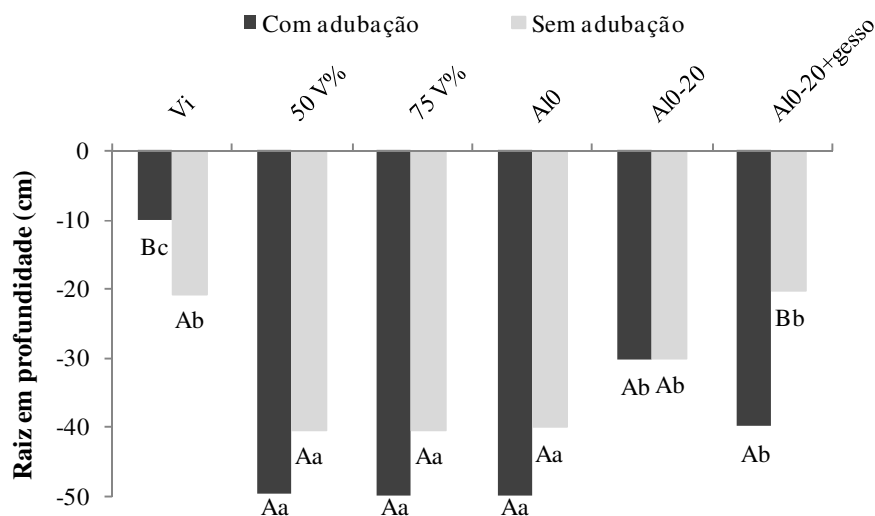
Para todas as variáveis analisadas no experimento, houve interação em relação às formas de correção da acidez do solo aplicadas e a adubação N-P-K.

Na Figura 18 é demonstrada a presença das raízes das plantas de pinhão manso em profundidade em função das diferentes formas de correção do solo e aplicação da adubação N-P-K.

A elevação da saturação por bases a 50 e 75% e neutralização total do alumínio ( $Al_0$ ) promoveram os maiores crescimentos radiculares das plantas, tanto na presença de adubação N-P-K quanto na sua ausência em relação às demais formas de correção do solo, seguidas pelos tratamentos  $Al_{0-20}$  e  $Al_{0-20+gesso}$  e por fim o controle (Figura 18).

Os tratamentos 50V%, 75V% e neutralização total do alumínio ( $Al_0$ ) na presença da adubação N-P-K permitiram o crescimento radicular até os 50 cm de profundidade, já na ausência, o crescimento foi até os 40cm. Em seguida o tratamento  $Al_{0-20+gesso}$  na presença de adubação permitiu o crescimento até os 40cm de profundidade, já na ausência, esse crescimento se limitou aos 20cm. O tratamento  $Al_{0-20}$  apresentou crescimento radicular até os 30cm de profundidade independente da adubação aplicada (Figura 18). O controle (V%i), que apresentou saturação por bases de 6% (Tabela 10), teve um crescimento radicular distinto em relação à adubação N-P-K, onde a sua ausência favoreceu o crescimento até os 20cm de profundidade, já na presença da adubação, esse crescimento foi até os 10cm.

Existem poucos trabalhos relatados na literatura quanto à resposta de pinhão manso e correção do solo. Olhand (2012) avaliou o comprimento radicular de pinhão manso em experimento onde montou em tubos de PVC com 60cm de altura, fez correção da acidez do solo nos primeiros 20cm, e aplicou doses crescentes de calcário na profundidade de 20 a 60cm, segundo o autor, não foi verificado efeito distinto para comprimento radicular do pinhão manso na parte inferior do anel de PVC, ou seja, 20 a 60cm de profundidade, mesmo com o aumento das doses de calcário, de 0 a  $14,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O autor acrescenta ainda que, com bases nos resultados encontrados, quando se fez correção na camada superficial (0-20cm), a raiz principal do pinhão manso não sofreu limitações para crescimento nas camadas subsuperficiais, mesmo com a presença de  $Al^{+3}$ . Esses resultados diferem dos encontrados no presente trabalho, conforme já descrito e apresentado na Figura 18, onde a correção da acidez e/ou neutralização do  $Al^{+3}$  do solo em toda a coluna de PVC permitiu o desenvolvimento radicular até os 50 cm de profundidade, diferindo daqueles tratamentos com correções até 20cm de profundidade ou sem correção (V%i).



**Figura 18.** Presença de raiz de pinhão manso em profundidade no solo (cm) em função da aplicação de diferentes formas de correção do solo (V%i – Saturação por bases inicial; 50V% - saturação por bases a 50%; 75V% - saturação por bases a 75%; Al<sub>0</sub> – Neutralização total do alumínio; Al<sub>0-20</sub> – Neutralização do alumínio até 20cm de profundidade; e Al<sub>0-20+gesso</sub> – Neutralização do alumínio até os 20cm de profundidade mais aplicação de gesso) e adubação com N-P-K.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando o efeito da adubação dentro de cada forma de correção do solo não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula comparando as formas de correção do solo não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade

Com as análises de imagens escaneadas das raízes, foi possível verificar o comprimento total das raízes, principais e laterais, sendo o resultado apresentado o somatório de todo o comprimento.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados de comprimento total das raízes, volume total das raízes e volume de raiz ocupado por volume de solo. Em relação ao comprimento das raízes, dentro dos tratamentos com adubação, o tratamento 50V% favoreceu o maior crescimento das raízes, seguido pelo tratamento 75V% e posteriormente Al<sub>0</sub>, Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>. O controle, V%i, apresentou o menor valor. Os tratamentos sem adubação, não diferiram estatisticamente entre si. Quando se compara àqueles tratamentos com adubação daqueles sem adubação, a adubação N-P-K, com exceção do V%i, favoreceu os maiores valores de crescimento radicular dentro de cada forma de correção do solo (Tabela 11). O V%i sem adubação favoreceu maior crescimento radicular das plantas.

**Tabela 11.** Média dos valores de massa seca do caule, massa seca da folha, massa seca da raiz, volume de raiz por volume de solo, comprimento da raiz, volume da raiz, diâmetro do caule e altura das plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de correção do solo e adubação.

Variável	Adubação N-P-K	Formas de correção do solo					
		V%i	50 V%	75 V%	Al <sub>0</sub>	Al <sub>0-20</sub>	Al <sub>0-20+gesso</sub>
Comprimento Raiz (cm)	Com	29,0Bd	134,1Aa	107,2Ab	56,7Ac	53,6Bc	53,5Bc
	Sem	59,9Aa	54,4Ba	45,4Ba	44,1Ba	64,7Aa	76,3Aa
Volume de raiz (cm <sup>3</sup> )	Com	0,3Bd	1,1Ab	1,9Aa	1,0Ab	0,9Ab	0,6Ac
	Sem	0,7Aa	0,3Ba	0,4Ba	0,3Ba	0,3Ba	0,5Ba
Volume de raiz por volume de solo (cm <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Com	102,0Ac	360,8Ab	594,5Aa	308,5Ab	240,3Ac	206,5Ac
	Sem	141,3Aa	180,1Ba	117,8Ba	97,7Ba	109,4Aa	157,8Aa
Massa seca da raiz (g)	Com	0,4Ad	4,6Ab	9,6Aa	3,8Ab	2,4Ac	2,2Ac
	Sem	0,8Aa	0,6Ba	1,0Ba	1,0Ba	1,0Ba	1,0Ba
Diâmetro de caule (cm)	Com	0,9Ad	2,0Ab	2,2Aa	1,5Ac	1,5Ac	1,5Ac
	Sem	0,8Ba	0,9Ba	1,0Ba	1,0Ba	1,1Ba	1,0Ba
Massa seca do Caule (g)	Com	0,8Ae	13,4Ab	18,4Aa	6,8Ac	6,1Ac	4,5Ad
	Sem	0,9Aa	1,0Ba	1,2Ba	1,2Ba	1,5Ba	1,5Ba
Massa seca da folha (g)	Com	-	3,20Ab	3,9Aa	2,2Ac	3,1Ab	2,4Ac
	Sem	-	0,3Ba	0,2Ba	0,2Ba	0,2Ba	0,1Ba
Altura de planta (cm)	Com	15,2Ae	27,0Ab	31,8Aa	23,5Ac	23,8Ac	20,0Ad
	Sem	14,3Aa	12,9Ba	15,2Ba	14,7Ba	13,5Ba	16,0Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O volume total da raiz teve como melhores respostas os tratamentos com adubação, o maior volume foi obtido no tratamento 75V%, seguidos pelos tratamentos 50V%, Al<sub>0</sub> e posteriormente Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>, ficando o controle por último (Tabela 11). Tendo o mesmo comportamento para o crescimento das raízes, a ausência da adubação fez com que não houvesse diferença estatística entre o volume das raízes para as formas de correção do solo (Tabela 11). Ao comparar os tratamentos com adubação sem adubação, com exceção do V%i, todos os tratamentos com adubação foram superiores àqueles sem adubação para volume total das raízes (Tabela 11). O volume de raiz por volume de solo explorado (cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) apresentou comportamento semelhante à variável volume total da raiz, com exceção do tratamento V%i, que neste caso não diferiu em relação à adubação N-P-K aplicada (Tabela 11).

Um dos diversos benefícios promovidos pela aplicação do calcário com finalidade de correção da acidez do solo é o favorecimento do desenvolvimento radicular das plantas, esse comportamento pode ser verificado em Nascimento et al., (2010); Bernadino et al., (2005); Fageira (2001). Para o pinhão manso, é importante obter essas informações para o seu manejo nutricional, uma vez que, as mesmas ainda são escassas na literatura (Laviola e Dias, 2008). Em trabalho realizado por Olhand (2012), foi observado que o pinhão manso teve resposta quadrática, onde a dose de 7,4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário aplicado na profundidade de 20-60cm promoveu o maior volume de raízes, assim como também, nesse mesmo experimento, o autor observou resposta positiva quanto ao crescimento das raízes conforme já discutido anteriormente.

Com exceção do tratamento V%i que não apresentou diferença estatística com aplicação da adubação e sem adubação, a massa seca da raiz apresentou comportamento semelhante à variável volume da raiz (Tabela 11). O tratamento 75V% foi superior aos

demais tratamentos, com valores mais que 100% superior ao segundo melhor tratamento que foi 50V% e Al<sub>0</sub>, que não diferiram entre si estatisticamente. Os tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> não diferiram estatisticamente entre si ficando em terceiro melhor tratamento quanto ao ganho de massa seca da raiz, sendo o controle ficando em último. A adubação aplicada dentro de cada forma de correção do solo, com exceção do controle, foi superior aos tratamentos sem adubação (Tabela 11).

Bonfim-Silva et al. (2011), avaliando crescimento inicial de pinhão manso, encontraram como melhor resposta para produção de massa seca de raiz em Latossolo Vermelho do cerrado, a saturação por bases de 47,12%, resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2010), diferindo dos resultados encontrados no presente trabalho (Tabela 11).

Em relação ao diâmetro do caule, para as formas de correção do solo com adubação N-P-K, o tratamento 75V% proporcionou o maior valor, seguido pelo tratamento 50V%. O tratamento Al<sub>0</sub>, Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> apresentaram o mesmo valor para essa variável, sendo o controle o menor diâmetro de caule apresentado. Na ausência de adubação nas formas de correção do solo, não houve diferença estatística para essa variável. Os tratamentos que receberam adubação N-P-K foram superiores àqueles que não receberam (Tabela 11).

O melhor tratamento, 75V%, obteve um ganho no aumento do diâmetro do caule de mais de 120% em relação ao controle (Tabela 11), Bonfim-Silva et al. (2011) obtiveram melhor resposta para diâmetro do caule do pinhão manso com a saturação por bases de 61,25%, e esse valor teve um ganho de apenas 16,8% em relação ao controle, diferindo dos resultados obtidos no presente trabalho. Silva et al., (2010) concluíram que para uma melhor resposta quanto a variável diâmetro do caule de pinhão manso a saturação por bases deve ficar entre 50 e 60%. Já para a cultura da mamona, Nascimento et al. (2010) não observaram diferença para o diâmetro do caule em função dos níveis de saturação por bases (50, 60, 70, e 80%).

Segundo Guimarães (2008), o diâmetro do caule é uma característica importante, uma vez que, quanto maior o seu valor, maior o vigor, a robustez e a resistência da planta. Esse autor, avaliando o crescimento inicial de pinhão manso em reposta a diferentes fontes e doses de adubos, observou que a quantidade mais elevada do biossólido, 340 kg ha<sup>-1</sup> de N, apresentou efeito 43,58% superior à testemunha (sem adubação) aos 135 dias de experimento

Para massa seca do caule, o tratamento 75V% apresentou maior valor, seguido pelos tratamentos 50V%, Al<sub>0</sub>, Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> e V%i, na presença da adubação N-P-K (Tabela 11). A ausência da adubação N-P-K nas formas de correção do solo, não apresentaram diferença entre si. Com exceção do V%i, a aplicação de N-P-K favoreceu maior ganho de massa seca do caule em relação a ausência da adubação. O V%i não diferiu quanto à adubação para ganho de massa seca do caule. Diferindo dos resultados encontrados no presente trabalho, Bonfim-Silva et al. (2011), relatam que a saturação de bases de 56,14% promoveu a melhor resposta de ganho de massa seca da parte aérea de plantas de pinhão manso. Corroborando com esses resultados Silva et al., (2010) encontraram os maiores ganhos de massa seca da parte aérea e raiz do pinhão manso com a saturação por bases entre 50 e 60%. Já Olhand (2012) não encontrou diferença no ganho de massa seca do caule das plantas de pinhão manso, com o aumento das doses de calcário aplicadas em profundidade de 20-60cm, uma vez que, em seu experimento a camada superficial do solo estava com a acidez do solo corrigida, segundo o autor, apenas essa correção superficial foi suficiente para manter o bom desenvolvimento inicial da cultura.

O tratamento V%i não apresentou folhas quando as plantas foram coletadas. Para massa seca das folhas, na presença de adubação N-P-K, o tratamento 75V%, foi superior aos demais, seguido pelo tratamento 50V% e Al<sub>0-20</sub> e posteriormente pelos tratamentos Al<sub>0</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> (Tabela 11). A ausência da adubação N-P-K não diferenciou estatisticamente a massa

seca das folhas nas formas de correção do solo. A presença da adubação N-P-K dentro de todas as formas de correção do solo foi superior em relação a sua ausência para a massa seca das folhas (Tabela 11).

Diferindo dos resultados encontrados, Olhand (2012), obteve resposta negativa para massa seca das folhas de pinhão manso com o aumento das doses de calcário na profundidade de 20-60cm, onde a camada superficial, 0-20cm, estava corrigida.

A altura das plantas teve como melhor resultado o tratamento 75V% na presença da adubação N-P-K, seguidos por 50V%, Al<sub>0</sub> e Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>, sendo o V%i o tratamento que proporcionou a menor altura. A presença da adubação N-P-K, com exceção do V%i, foi superior em todos os tratamentos para essa variável (Tabela 11). O tratamento 75V% obteve um ganho de mais de 109% para a altura das plantas em relação ao controle. Diferindo dos resultados encontrados, Bonfim-Silva et al. (2010) encontraram como melhor resposta para a altura de plantas de pinhão manso a saturação por bases de 48,73%, tendo um incremento em altura das plantas em relação ao controle de 33%, e Silva et al. (2010) obtiveram os maiores valores para altura de plantas de pinhão manso com a saturação por bases entre 50 e 60%. Já na cultura da mamona, Léles et al. (2010) encontraram na saturação por bases de 60 e 80% os melhores resultados para alturas das plantas, onde no V% = 60, houve aumento de 19% e com V% = 80, um acréscimo de 9% na altura da planta em relação ao controle.

Na Tabela 12 são apresentados os teores médios de N-P-K na raiz, no caule e na folha do pinhão manso.

O maior teor de N na raiz foi encontrado nos tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> com adubação, seguidos pelos tratamentos 50V% e 75V% e posteriormente pelo Al<sub>0</sub>, o controle, V%i, apresentou o menor valor. Em relação às formas de correção do solo com e sem adubação N-P-K, a aplicação da adubação apresentou os maiores teores de N na raiz (Tabela 12).

O teor de fósforo na raiz não apresentou diferença estatística entre as formas de correção do solo com e sem adubação N-P-K, tendo como média o teor de 0,8 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 12). Mas, as formas de correção do solo apresentaram respostas distintas quanto ao teor de P na raiz, sendo os tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> com os maiores teores seguidos pelas demais formas de correção do solo (Tabela 12).

O teor de K na raiz apresentou o mesmo comportamento que o teor de N, sendo os tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> com adubação, com os maiores valores desse nutriente (Tabela 12).

Para os teores de N-P-K no caule do pinhão manso, o tratamento Al<sub>0-20</sub> com adubação proporcionou os maiores teores desses nutrientes. A aplicação de adubação N-P-K nas formas de correção do solo diferenciou-se dos tratamentos sem adubação (Tabela 12).

**Tabela 12.** Teores médios de nitrogênio na raiz (NR), no caule (NCA) e na folha (NFO); fósforo na raiz (PR), no caule (PCA) e na folha (PFO); potássio na raiz (KR), no caule (KCA) e na folha (KFO) em plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de correção do solo e adubação.

Teores (g kg <sup>-1</sup> )	Adubação N-P-K	Formas de correção do solo						Média
		V% <sub>i</sub>	50 V%	75 V%	Al <sub>0</sub>	Al <sub>0-20</sub>	Al <sub>0-20+gesso</sub>	
NR	Com	17,7Ac	22,1Ab	24,4Ab	18,9Ac	35,7Aa	35,8Aa	-
	Sem	8,5Bb	12,4Ba	6,5Bb	6,9Bb	9,1Bb	14,9Ba	-
PR	Com	0,7	0,7	0,4	0,4	0,9	2,0	0,8A
	Sem	0,2	0,8	0,5	0,2	2,2	1,0	0,8A
	Média	0,4b	0,8b	0,5b	0,3b	1,5a	1,5a	-
KR	Com	4,8Ac	5,4Ac	6,3Ab	5,1Ac	8,4Aa	7,6Aa	-
	Sem	3,0Bb	3,0Bb	2,1Bb	4,8Ab	2,4Ba	5,1Ba	-
NCA	Com	29,2Ac	35,8Ab	28,3Ac	34,4Ab	43,6Aa	42,1Aa	-
	Sem	11,5Ba	13,0Ba	12,6Ba	12,3Ba	9,8Bb	9,4Bb	-
PCA	Com	2,3Aa	4,9Ab	4,3Ab	4,4Ab	7,9Aa	3,3Ac	-
	Sem	1,5Bc	2,9Ba	2,1Bb	1,4Bc	2,0Bc	1,6Bc	-
KCA	Com	9,2Ac	8,5Ac	7,4Ac	10,8Ab	12,4Aa	12,9Aa	-
	Sem	2,7Ba	4,0Ba	4,3Ba	3,9Ba	3,9Ba	3,6Ba	-
NFO	Com	-	30,0Ab	42,4Aa	25,0Ac	21,2Ac	21,4Ac	-
	Sem	-	18,0Bb	21,8Ba	20,5Ba	17,1Bb	16,4Bb	-
PFO	Com	-	1,9Ac	1,7Ad	3,7Aa	3,1Ab	3,6Aa	-
	Sem	-	1,1Ab	0,9Ac	1,3Aa	0,9Ac	0,7Ad	-
KFO	Com	-	7,6Aa	7,8Aa	7,0Aa	4,2Ab	3,7Ab	-
	Sem	-	3,3Ba	2,9Ba	1,8Bb	1,0Bb	1,3Bb	-

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em relação aos nutrientes nas folhas, o teor de nitrogênio foi maior no tratamento 75V% com adubação, seguido pelos tratamentos 50V%, Al<sub>0</sub>, Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>. Para o fósforo, o maior valor foi proporcionado pelos tratamentos Al<sub>0</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub> seguidos pelos Al<sub>0-20</sub>, 50V% e 75V%. A presença de adubação nas formas de correção do solo proporcionou os maiores teores de fósforo em relação a sua ausência. Para o teor de potássio os tratamentos 50V%, 75V% e Al<sub>0</sub> foram responsáveis pelos maior teores desse nutriente nas folhas de pinhão manso, seguidos pelos tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>. A presença da adubação N-P-K nas formas de correção do solo proporcionou maiores valores de N, P e K nas folhas quanto a sua ausência (Tabela 12).

Os teores de N na raiz e no caule, como observado na Tabela 12, tem como maiores valores os tratamentos Al<sub>0-20</sub> e Al<sub>0-20+gesso</sub>, seguidos pelo Al<sub>0</sub>, a neutralização do Al<sup>3+</sup> disponível no solo pelos tratamentos aplicados (Tabela 13), pode ter favorecido uma maior absorção desse nutriente pelas raízes. A ausência do alumínio disponível proporciona um melhor desenvolvimento radicular e absorção dos nutrientes (Sousa et al., 2007).

O alto teor de P no caule observado no tratamento Al<sub>0-20</sub> pode ser explicado, além da neutralização do Al<sup>3+</sup>, um aumento do pH, tornando assim o P mais disponível nesse solo (Novais et al., 2007; Malavolta et al., 1997), com isso, a sua maior absorção pelas raízes e, consequentemente, pela alta mobilidade desse nutriente na planta (Lima et al., 2011a; Epstein e Bloom, 2006).

O teor de K na raiz e no caule teve o mesmo comportamento do N, onde os maiores

valores foram observados nos tratamentos  $Al_{0-20}$  e  $Al_{0-20+gesso}$  (Tabela 12). Segundo Malavolta et al. (1997), essa maior absorção de potássio pode ser explicada pela presença de  $Ca^{2+}$  no solo com a realização da correção do solo, essa afirmação é corroborada também por Olhand (2012), onde justificou o incremento da calagem como responsável pelos altos teores de K nas raízes de pinhão manso.

Os tratamentos de correção V%*i* não apresentaram folhas na época da coleta para análise (Tabela 12). O tratamento 75V% proporcionou maior teor de N nas folhas. Ainda não se encontra na literatura respostas quanto ao efeito da saturação por bases e teores de N nas folhas de pinhão manso, os recentes trabalhos indicam que saturações entre 40 e 60% podem ser consideradas como adequadas para o bom desenvolvimento da cultura (Bonfim-Silva, 2011; Silva et al., 2010) porém, os teores encontrados no presente trabalho se encontram próximos dos relatados por Lima et al., (2011a; 2011b) e Laviola e Dias (2008).

Os teores de P nas folhas apresentam melhores resultados nos tratamentos de neutralização do  $Al^{3+}$ , ou seja,  $Al_0$ ,  $Al_{0-20+gesso}$  e  $Al_{0-20}$ , seguindo o mesmo comportamento relatado para o teor de P no caule. A sua alta mobilidade na planta proporcionou os altos teores encontrados no presente trabalho, esses valores de P nas folhas de pinhão manso também foram observados por Lima et al., (2011a) e Lima et al., (2011b). Os teores de K nas folhas de pinhão manso apresentados no presente trabalho, mesmo nos melhores tratamentos, 50V%, 75V% e  $Al_0$  (Tabela 12), estão abaixo dos relatados por Lima et al., (2011a) e Laviola e Dias (2008).

Para os teores de alumínio, cálcio e magnésio disponíveis no solo e valor de pH, houve interação entre as formas de correção do solo e aplicação da adubação N-P-K (Tabela 13).

Em relação ao teor disponível de alumínio no solo ( $Al^{3+}$ ), houve redução da sua disponibilidade em função da aplicação das formas de correção da acidez do solo. O tratamento  $Al_0$  foi o que promoveu a maior redução em todas as camadas analisadas, seguido pelos tratamentos 75V% e 50 V%. Os tratamentos  $Al_{0-20}$  e  $Al_{0-20+gesso}$  também tiveram efeito positivo quanto à redução da disponibilidade de  $Al^{3+}$ , principalmente os tratamentos que receberam adubação N-P-K, onde as camadas mais profundas também apresentaram redução na disponibilidade de  $Al^{3+}$  (Tabela 13). Essa observação fica mais clara quando se analisa os resultados no tratamento V%*i*, que na presença de adubação N-P-K, há uma redução do  $Al^{3+}$ , paralelamente, ao visualizar os valores de pH, os mesmos ficam elevados com a aplicação dessa adubação (Tabela 13).

**Tabela 13.** Valores de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), cálcio (Ca) e magnésio Mg) trocáveis, e pH do solo após coleta das plantas de pinhão manso submetidas a diferentes formas de adubação e aplicação de N-P-K.

Variável	Profundidade (cm)	Adubação N-P-K	Formas de correção do solo					
			Vi%	50 V%	75 V%	Al <sub>0</sub>	Al <sub>0-20</sub>	Al <sub>0-20+gesso</sub>
$\text{Al}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0-10	Com	0,2Ba	0,1Ba	0,1Aa	0,0Ab	0,0Ab	0,0Ab
		Sem	1,1Aa	0,5Ab	0,2Ac	0,0Ad	0,0Ad	0,0Ad
	10-20	Com	0,2Aa	0,2Aa	0,2Aa	0,0Aa	0,0Aa	0,0Aa
		Sem	1,1Ba	0,7Bb	0,1Ac	0,0Ac	0,0Ac	0,0Ac
	20-30	Com	0,2Ba	0,2Ba	0,2Aa	0,0Aa	0,2Ba	0,2Ba
		Sem	1,2Aa	0,4Ab	0,1Ac	0,0Ac	1,1Aa	0,8Ab
	30-40	Com	0,3Ba	0,2Ba	0,2Aa	0,1Aa	0,2Ba	0,2Ba
		Sem	1,2Aa	0,4Ab	0,1Ac	0,0Ac	1,3Aa	1,3Aa
	40-50	Com	0,3Ba	0,2Ba	0,2Aa	0,0Aa	0,1Ba	0,2Ba
		Sem	1,2Aa	0,6Ab	0,1Ac	0,0Ac	1,3Aa	1,2Aa
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (1:2,5)	0-10	Com	6,3Aa	6,4Aa	6,5Aa	6,3Ba	6,4Ba	6,4Ba
		Sem	4,9Bc	5,1Bc	5,4Bb	7,0Aa	7,0Aa	7,3Aa
	10-20	Com	6,3Aa	6,3Aa	6,3Aa	6,1Ba	6,3Ba	6,3Ba
		Sem	4,8Bb	5,1Bb	5,5Bb	6,8Aa	6,8Aa	7,3Aa
	20-30	Com	6,2Aa	6,2Aa	6,2Aa	6,0Ba	6,0Aa	6,1Aa
		Sem	4,8Bc	5,1Bc	5,5Bb	7,2Aa	4,8Bc	4,9Bc
	30-40	Com	6,0Aa	6,0Aa	6,0Aa	6,0Ba	6,0Aa	5,9Aa
		Sem	4,8Bd	5,1Bc	5,5Bb	7,5Aa	4,7Bd	4,6B
	40-50	Com	5,9Aa	5,8Aa	6,2Aa	5,8Ba	5,7Aa	5,8Aa
		Sem	4,9Bc	5,0Bc	5,6Bb	7,2Aa	4,9Bc	4,6Bc
Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0-10	Com	0,1Aa	0,2Aa	0,2Ba	0,2Ba	0,4Ba	0,3Ba
		Sem	0,0Ae	0,4Ad	0,5Ad	0,9Ac	1,8Ab	2,1Aa
	10-20	Com	0,1Aa	0,2Ba	0,2Aa	0,2Ba	0,4Ba	0,5Ba
		Sem	0,0Ae	0,6Ad	0,3Ae	1,1Ac	1,6Ab	2,0Aa
	20-30	Com	0,2Aa	0,2Ba	0,2Ba	0,2Ba	0,1Ba	0,2Ba
		Sem	0,1Ac	0,4Ab	0,5Ab	1,1Aa	0,6Ab	1,2Aa
	30-40	Com	0,1Aa	0,2Ba	0,3Ba	0,2Ba	0,1Ba	0,1Ba
		Sem	0,0Ad	0,4Ac	0,6Ac	1,1Aa	0,5Ac	0,9Ab
	40-50	Com	0,1Aa	0,2Ba	0,3Ba	0,3Ba	0,1Ba	0,2Ba
		Sem	0,0Ae	0,5Ac	0,6Ab	1,3Aa	0,3Ad	0,7Ab
Mg ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0-10	Com	0,0Ab	0,1Ab	0,1Ab	0,9Aa	0,8Aa	1,2Aa
		Sem	0,2Ab	0,6Ba	0,7Ba	0,8Aa	0,7Aa	0,7Aa
	10-20	Com	0,0Ab	0,1Ab	0,0Bb	0,6Aa	0,9Aa	0,5Aa
		Sem	0,1Ab	0,6Ab	1,7Aa	0,9Aa	0,8Aa	0,4Ab
	20-30	Com	0,0Ac	0,0Bc	0,1Bc	0,8Aa	0,6Ab	0,4Ab
		Sem	0,2Ac	0,6Ab	0,8Aa	1,0Aa	0,6Ab	0,1Bc
	30-40	Com	0,0Ad	0,0Bd	0,2Bc	0,9Aa	0,5Ab	0,3Ac
		Sem	0,2Ac	0,5Ab	0,8Aa	0,9Aa	0,6Ab	0,2Ac
	40-50	Com	0,0Ac	0,0Bc	0,1Bc	1,4Aa	0,6Ab	0,2Ac
		Sem	0,2Ac	0,5Ab	0,9Aa	0,9Ba	0,7Ab	0,3Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores de pH apresentaram respostas esperadas aos tratamentos aplicados, onde na presença de calcário, seja para elevar o V% ou para neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$ , houve um aumento de pH (Tabela 13). Como resultados não esperados, a presença da adubação N-P-K, que foi aplicada via solução nutritiva, também promoveu aumento do pH, conforme discutido anteriormente.

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram interação quanto à forma de correção do solo e aplicação da adubação N-P-K, os tratamentos que receberam adubação, proporcionaram maior absorção desses nutrientes pelas plantas, uma vez que, os seus valores no solo, foram



menores que àqueles tratamentos sem adubação N-P-K (Tabela 13). O que pode vir a explicar essa redução no valor desses nutrientes disponíveis é a sua absorção pelas plantas, pois a adubação N-P-K mais um solo com acidez corrigida proporcionam um ambiente favorável para um melhor desenvolvimento radicular das plantas, assim como ela toda (Souza et al., 2007). Essa hipótese se torna plausível ao se verificar os resultados de ganho de massa seca da parte aérea e raiz das plantas, assim como os dados de biometria das mesmas e presença das raízes em profundidade (Tabela 11 e Figura 18).

A aplicação da solução nutritiva nos tratamentos com adubação, promoveu um aumento do pH do solo, onde esse aumento contribuiu, juntamente com as formas de correção do solo, para a redução da disponibilidade do  $Al^{3+}$ , esse comportamento pode ser observado no tratamento V%*i*, onde, mesmo sem a aplicação de calcário, ocorreu aumento do pH e redução do  $Al^{3+}$  (Tabela 13). A absorção de N na forma nítrica pelas plantas, pode causar elevação do pH da solução do solo, quando a absorção de ânions é maior do que a de cátions (Epstein e Bloom, 2006; Souza e Fernandes, 2006), essa pode ser uma hipótese quanto a essa atípica elevação do pH do solo com aplicação de solução nutritiva.

Os resultados apresentados demonstram que a cultura do pinhão manso é responsiva a aplicação de corretivos e adubação do solo no seu plantio. Esses resultados corroboram com os autores Arruda et al. (2004); Saturnino et al. (2005) e Dias et al. (2007) que afirmam que para se obter alta produtividade, o pinhão manso apesar de sobreviver em solos pobres, precisa de boas condições físicas e alta fertilidade do solo.

#### **4.6 CONCLUSÕES**

As diferentes formas de correção do solo associadas à adubação podem influenciar positivamente no crescimento inicial do pinhão manso.

Os melhores métodos para correção da acidez do solo para a cultura do pinhão manso são elevação da saturação por bases para 50% e neutralização do alumínio.

A gessagem se mostrou eficiente e pode ser também recomendada quando o solo apresentar baixos teores de Ca e Mg em profundidade no solo.

## **5. CAPÍTULO III:**

### **RESPOSTA DE DIFERENTES ACESSOS DE PINHÃO MANSO AO EFEITO TÓXICO DO ALUMÍNIO SOB CULTIVO HIDROPÔNICO**

## 5.1 RESUMO

O pinhão manso por ser uma oleaginosa perene, apresenta potencial para a produção de biodiesel. Entretanto, o conhecimento sobre seu manejo nutricional é imprescindível para a obtenção de boas produtividades. A toxidez causada pelo alumínio (Al) é um dos mais importantes fatores que limitam o crescimento e/ou desenvolvimento destas plantas em solos ácidos, principalmente em valores de pH abaixo de 5,0. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do crescimento da parte aérea e raízes de diferentes acessos de pinhão manso, que apresentam teores baixo e alto de éster de forbol, submetidos ao cultivo hidropônico com aplicação de doses crescentes de Al. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O experimento foi em delineamento em blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial 4x5. Os tratamentos corresponderam a quatro acessos, sendo dois com alto teor e dois com baixo teor de éster de forbol e, cinco doses de Al: 0,0; 12,5; 25,0; 50,0 e 100,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Aos 10 dias após plantio (DAP), as plantas foram colhidas, e o sistema radicular seccionado da parte aérea. Na parte aérea foram avaliados o número de folhas; altura de planta; área foliar e massa seca da parte aérea. No sistema radicular foram avaliados o comprimento linear final da raiz principal e massa seca. Realizaram-se dez leituras de clorofila a, b e total na primeira folha totalmente expandida de cada planta através do clorofilômetro Falker<sup>®</sup>. Assim como, retiraram-se dois discos de 10mm de diâmetro em cada folha para determinação do teor de clorofila e pigmentos acessórios, utilizando o método de extração com o solvente orgânico DMSO. Analisaram-se os teores totais de macro e micronutrientes, bem como o teor total de Al na massa seca foliar e radicular. Doses crescentes de  $\text{Al}^{3+}$  reduziram o comprimento das raízes, número de folhas e altura das plantas para os acessos CNPAE-170, CNPAE-190, UFRRJ-346 e UFRRJ-858. Houve redução de clorofila a, b e total no acesso UFRRJ-858 e redução de carotenoide no acesso CNPAE-190. As crescentes doses de  $\text{Al}^{3+}$  reduziram também os teores de nutrientes em todos os acessos de pinhão manso.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L.. Nutrição mineral de oleaginosas. Fitotoxicidade.

## 5.2 ABSTRACT

Physic nut plants being a perennial oilseed, has potential for the production of biodiesel. However, knowledge about its nutritional management is essential for obtaining good yields. The toxicity caused by aluminum (Al) is one of the most important factors that limit the growth and/or development of these plants in acid soils, especially at pH values below 5.0. Thus, the objective of this study was to evaluate the growth of shoots and roots of different accessions of physic nut, which have low and high concentration of phorbol ester, subject to cultivation of hydroponics with increasing doses of Al. The experiment was conducted in a greenhouse at the experimental field of the Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro. The experiment was a randomized complete block design with three replications in a factorial 4x5. The treatments consisted of four access, two with high content and two low phorbol ester and five doses of Al: 0.0; 12.5; 25.0; 100.0 and 50.0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . At 10 days after planting (DAP), the plants were harvested, sectioned, and the root system of the shoot. In the shoots were assessed the number of leaves; plant height; leaf area and dry weight of shoots. The root system were evaluated in the weight root dry and main length linear final . Performed on ten readings of chlorophyll a, b and total in the first fully expanded leaf of each plant through chlorophyll Falker®. Like, withdrew two discs of 10mm diameter on each sheet for determination of chlorophyll and accessory pigments, using the method of extraction with the organic solvent DMSO. We analyzed the total content of macro and micronutrients, as well as the total Al content in the shoot and root dry mass. Increasing doses of  $\text{Al}^{3+}$  reduced root length, number of leaves and plant height for CNPAE-170, CNPAE-190, UFRRJ-346 and UFRRJ-858 access. There was a reduction of chlorophyll a, b and total in UFRRJ-858 access and reduction in carotenoid CNAPE-190 access. Increasing doses of  $\text{Al}^{3+}$  also reduced the levels of nutrients in all accessions of physic nut.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L.. Mineral nutrition of oil. Phytotoxicity.

### 5.3 INTRODUÇÃO

O homem busca, a todo o momento, alternativas para mitigar os danos causados pelo uso indiscriminado de insumos não renováveis na produção agrícola. O uso de oleaginosas para a produção de biodiesel é uma das alternativas que vem sendo explorada para diminuir o uso de insumos na produção da agroenergia. O pinhão manso é uma oleaginosa perene, monoica, pertencente à família das Euforbiáceas; apresenta potencial para a produção de biodiesel e o conhecimento sobre seu manejo agrônomico e nutricional se torna imprescindível para a obtenção de boas produtividades (Maes et al., 2009; Sujatha et al., 2008; Arruda et al., 2004; Dias et al., 2007; Saturnino et al., 2005).

Contudo, os dados encontrados na literatura sobre a cultura apresentam controvérsias em relação às informações agrônomicas, dentre elas, se destacam àquelas que afirmam ser uma cultura tolerante às condições desfavoráveis do solo e clima (Arruda et al., 2004; Heller, 1996), sendo que estudos sobre as respostas do pinhão manso sobre diferentes tratamentos quanto à sua nutrição mineral demonstram que essa espécie apresenta-se como uma cultura exigente em boas condições químicas e físicas do solo, dentre esses estudos, verificam-se técnicas de elemento faltante (Silva et al., 2010), doses de fontes orgânicas (Prates et al. 2011), diferentes doses e formulações de fontes minerais (Gusmão, 2010), uso de águas salinas (Veras et al., 2011), entre outros.

A acidez dos solos é uma das principais causas de restrição para os cultivos agrícolas nos trópicos. De acordo com Sousa e Lobato (2004), os solos brasileiros apresentam um nível de acidez considerável, com a presença de Al em níveis prejudiciais ao desenvolvimento dos vegetais, além de teores reduzidos de Ca e Mg trocáveis, o que prejudicam no desenvolvimento das culturas.

Quando o pH do solo diminui para 5,5 há uma maior atividade do Al na solução do solo, ocasionando, conseqüentemente, uma maior potencialização dos efeitos fitotóxicos e insalubres desse elemento às culturas (Macedo et al, 2011).

A toxidez causada pelo Al é um dos mais importantes fatores que limitam o crescimento e/ou, desenvolvimento das plantas em solos ácidos, principalmente em pH abaixo de 5,0 (Lana et al., 2009). Porém, a fitotoxicidade do Al não está totalmente esclarecida, principalmente pela da sua complexidade química. Há discussão entre autores quanto a real causa danosa provocada pelo Al nas plantas, enquanto para alguns a causa primária da inibição do crescimento da raiz é o comprometimento da mitose nas células do meristema apical da raiz, outros defendem a hipótese de que o Al pode se ligar a muitos componentes celulares antes de entrar no núcleo, sendo tóxico antes mesmo de penetrar nas células da raiz (Gordin et al., 2013; Echart e Cavalli-Molina, 2001).

A escolha de variedades que se adaptem melhor às condições adversas, como solos ácidos é de importância crucial na busca pela produção de energia sustentável.

O éster de forbol é considerado como a principal substância tóxica encontrada na semente de pinhão manso, devido a esse fator, o uso da torta de pinhão manso na alimentação animal é desaconselhado por diversos autores, informando sua toxidez em monogástricos e ruminantes (Gandhi et al., 1995; Becker e Makkar, 1998; Makkar e Becker, 1999; Gübitz et al., 1999; Chivandi et al., 2006).

Com isso o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do crescimento da parte aérea e raízes de diferentes acessos de pinhão manso, com baixo e alto teor de éster de forbol, submetido ao cultivo hidropônico com aplicação de doses crescentes de Al.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 Local e implantação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, situado nas coordenadas geográficas 22° 44' 38" S e 43° 42' 27" W, em uma altitude média de 30 m acima do nível do mar.

O experimento foi montado no período de 09/nov/2012 a 23/nov/2012 e conduzido em delineamento em blocos casualizados com três repetições, num esquema fatorial 4x5. Os tratamentos corresponderam a quatro acessos, sendo dois com alto teor e dois com baixo teor de éster de forbol e cinco doses de Al: 0,0; 12,5; 25,0; 50,0 e 100,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Cada unidade experimental consistiu de um vaso contendo duas plantas.

Utilizaram-se sementes de acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da UFRRJ para plantas consideradas com alto teor de éster de forbol e as sementes consideradas com baixo teor de éster de forbol foram de procedências cedidas do BAG da Embrapa Agroenergia. As sementes germinaram em bandejas contendo areia lavada, as quais foram diariamente irrigadas com água destilada.

Aos 15 dias do plantio (DAP), as plântulas foram retiradas da areia e selecionadas quanto à homogeneidade do comprimento radicular e da altura da parte aérea e, transferidas para vasos plásticos com capacidade para 3L, providos de tampas perfuradas, permitindo a submersão das raízes na solução nutritiva para os diferentes tratamentos, contendo solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) modificada, com as seguintes concentrações: macronutrientes ( $\text{mg L}^{-1}$ ) Ca ( $\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 47,23$ ;  $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 4,0$ ;  $\text{KNO}_3 = 25,26$ ;  $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1,0$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 6,8$  e  $\text{MgSO}_4 = 6,8$  e para fornecimento de micronutrientes foi utilizado a quantidade de 2,5  $\text{mg L}^{-1}$  do produto comercial Conmicros Standard®, cujas concentrações de micronutrientes são ( $\text{mg L}^{-1}$ ): Fe-EDTA = 1,81; Cu-EDTA = 0,45; Zn-EDTA = 0,18; Mn-EDTA = 0,45; B = 0,45; Mo = 0,09; Ni = 0,09.

Após quatro dias de adaptação, as plantas foram submetidas às concentrações de Al ( $\text{Al}^{3+}$ ) de 0,0; 12,5; 25,0; 50,0 e 100,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . O Al foi adicionado na forma de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . O pH da solução ( $4,00 \pm 0,05$ ) foi monitorado diariamente e ajustado, quando necessário, utilizando-se NaOH 0,1  $\text{mol L}^{-1}$  ou HCl 0,1  $\text{mol L}^{-1}$ . As plantas foram mantidas sob arejamento a cada 30 minutos.

### 5.4.2 Avaliações realizadas

#### a) Biometria e biomassa das plantas

Após o período de 10 DAP, procedeu-se a colheita, sendo o sistema radicular seccionado da parte aérea. Na parte aérea avaliaram-se o número de folhas (NF); altura de planta (AP); área foliar (AF); massa seca do pecíolo (MSPE); massa seca da folha (MSFO) e massa seca da parte aérea (MSPA). Já no sistema radicular avaliaram-se o comprimento linear final da raiz principal (CR) e massa seca do sistema radicular (MSR).

Para medições de AP e CR utilizou-se uma trena, sendo que para o comprimento linear da raiz, suspendeu-se a mesma e a medição foi realizada do colo da planta até o final da raiz, para a MSPA e MSR utilizou-se balança analítica. Para a determinação da área foliar, as folhas coletadas foram digitalizadas em um scanner (HP scanjet 5490c), com resolução de 200dpi (16,7 milhões de cores). Os arquivos de imagens geradas foram salvos com formato BMP (bitmap, Microsoft-Windows), para determinação da área foliar com o programa ImLab® versão 2.3, desenvolvido pela PUC-Rio.

## b) Pigmentos fotossintéticos

Após 10 DAP, em cada parcela foram selecionadas em cada planta a primeira folha totalmente expandidas, e realizadas dez leituras de clorofila a, b e total através do clorofilômetro eletrônico modelo CFL 1030 da marca Falker<sup>®</sup>, onde o resultado final foi uma média desses pontos.

Nas mesmas folhas, retirou-se dois discos de 10mm de diâmetro em cada, para determinação do teor de pigmentos fotossintéticos, utilizando o método de extração com o solvente orgânico DMSO (Hiscox Israelstam, 1979). Fatiaram-se os discos em pequenos pedaços, postos em potes de vidro âmbar imersos em 10,0mL de DMSO, os quais foram mantidos no escuro por 48 horas; após este período, realizaram-se as leituras em espectrofotômetro nas absorvâncias de 480, 649 e 665nm (Wellburn, 1994). Utilizaram-se as seguintes equações para determinar o conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, de acordo com o proposto por Wellburn (1994):

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{molm}^{-2}) = \left\{ \left[ \frac{(12,19A_{665} - 3,45A_{649}) \times \text{Volume DMSO (ml)}}{\text{área discos foliares (cm}^2)} \right] \times 11,21 \right\}$$

$$\text{Clorofila b } (\mu\text{molm}^{-2}) = \left\{ \left[ \frac{(21,99A_{649} - 5,32A_{665}) \times \text{Volume DMSO (ml)}}{\text{área discos foliares (cm}^2)} \right] \times 11,21 \right\}$$

$$\text{Carotenóides } (\mu\text{molm}^{-2}) = \left\{ \left[ \frac{\left( \frac{1000A_{480} - 2,14 \text{ Clorofila a} - 70,16 \text{ Clorofila b}}{220} \right) \times \text{Volume DMSO (ml)}}{\text{área discos foliares (cm}^2)} \right] \times 11,21 \right\}$$

## c) Análises de nutrientes

Em relação a massa seca do material vegetal, analisou-se os teores totais de macro e micronutrientes, bem como o teor total de Al, de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Após a secagem, os materiais vegetais foram moídos em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório Solo Planta para a determinação de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Fe e Al pelo método de digestão nítrica. Para tanto, tomou-se 0,250 g de tecido vegetal em tubo de teflon de 75mL, adicionando-se 9mL de HNO<sub>3</sub> e, após vedado, o tubo foi submetido a aquecimento por microondas. Após digestão, a amostra foi diluída à 50mL com água mili-Q<sup>®</sup>, submeteu-se os extratos à análise multielementar para determinação dos teores de Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e Fe em espectrômetro de absorção atômica de chama. Nesse mesmo extrato, determinaram-se os teores de P por colorimetria do metavanadato, pela leitura em espectrofotômetro, e de K por fotometria de chama. Para determinação de nitrogênio realizou-se digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio pelo método de Kjeldahl (Malavolta et al., 1997).

## d) Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas aos acessos comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade, e as referentes às doses de Al ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada até 5% de probabilidade, pelo teste t. Para a análise de variância e para o ajuste das equações de regressão foi usado o programa SAEG (SAEG, 2007).



## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Teores de éster de forbol

Foram separadas sementes dos acessos de pinhão manso e enviadas para o Laboratório de Química do Departamento de Química da UFRRJ, para análise dos teores de éster de forbol. A princípio, acreditava-se que os acessos UFRRJ-346 e UFRRJ-858 seriam tóxicos, mas foram detectados os teores de 0,59 e 0,67mg g<sup>-1</sup> de éster de forbol, respectivamente. Os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 tiveram 0,49 e 0,45mg g<sup>-1</sup> de éster de forbol, respectivamente, confirmando a baixa toxicidade esperada.

Mesmo estando com valores baixos, os teores detectados ainda são considerados como tóxicos, de acordo com Mendonça e Laviola (2009) teores até 0,3mg g<sup>-1</sup> de éster de forbol em massa seca de semente, são classificados como atóxicas.

Os baixos teores encontrados nas sementes dos acessos de pinhão manso utilizados no presente trabalho se tornam interessantes para pesquisas futuras quanto ao seu uso na agricultura familiar, por exemplo, onde a produção de óleo pode ser incorporada ao sistema de produção animal, isto é, os co-produtos da extração do óleo, como a torta originada pela extração das sementes por esmagamento, pode ser utilizada como ração na alimentação animal (Achten et al., 2010; Mendonça e Laviola, 2009).

### 5.5.2 Biometria

Em relação à resposta das plantas quanto ao desenvolvimento, não houve interação significativa entre os acessos de pinhão manso utilizados com a aplicação das doses crescentes de Al na solução nutritiva (Tabela 14).

Apesar do pouco tempo em contato com a solução nutritiva, ou seja, 10 dias, as variáveis de comprimento linear da raiz, diâmetro do caule, número de folhas e altura da planta foram afetadas com os tratamentos aplicados (Tabela 14).

Para o comprimento linear das raízes dos acessos de pinhão manso, nota-se que com o aumento das doses de Al, houve uma redução do desenvolvimento das mesmas, e que entre os acessos não houve diferença em relação ao desenvolvimento radicular (Figura 19). Com a aplicação da maior dose de Al (100μmol L<sup>-1</sup>), as plantas apresentaram após a aplicação dos tratamentos um ganho médio de apenas 1cm, quando na dose 0μmol L<sup>-1</sup>, as plantas obtiveram um ganho médio de 12,5cm (Tabela 14; Figura 19). Macedo et al. (2011) também observaram redução linear no comprimento das raízes das plantas de pinhão manso com aplicação de doses de Al até 6mg L<sup>-1</sup>. Assim como Gordin et al. (2013) que constataram uma redução linear no crescimento radicular do pinhão manso sob cultivo hidropônico, a partir da aplicação de doses crescentes de Al, até 20mmol L<sup>-1</sup>. Mattiello et al., (2008); Stolf et al., (2008); Lana et al., (2009); Naing et al., (2009); Steiner et al., (2012); Lana et al., (2013) também observaram respostas semelhantes a essa variável com outras culturas.

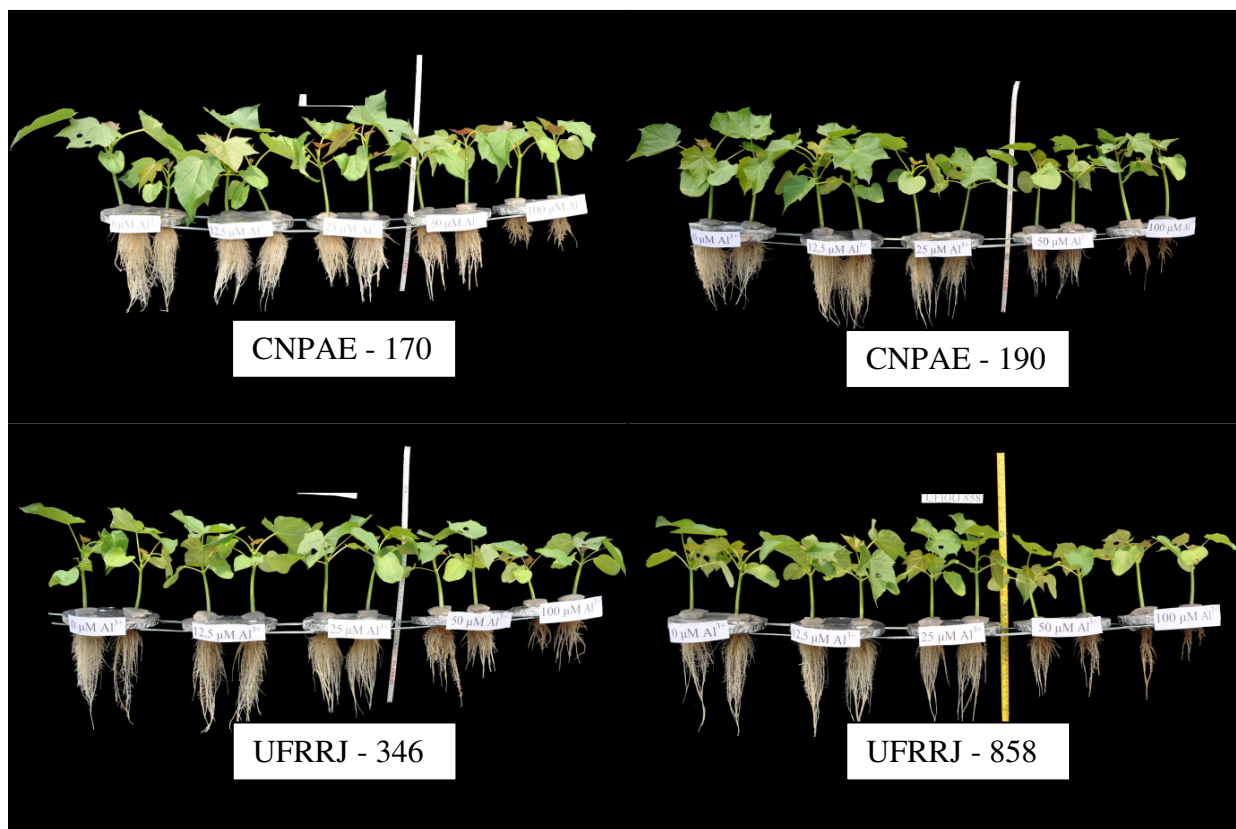
**Tabela 14.** Média de ganho nos valores de comprimento linear da raiz, diâmetro do caule, número de folhas e altura da planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
Comprimento linear da Raiz (cm)	CNPAE 170	13,0	11,8	9,1	3,6	0,9	7,7 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	11,3	11,7	8,0	4,5	1,3	7,4
	UFRRJ 346	13,2	13,9	9,3	3,3	0,9	8,1
	UFRRJ 858	12,4	9,6	8,0	5,1	0,9	7,2
	Média	12,5a	11,7a	8,6b	4,1c	1,0d	
Diâmetro do Caule (mm)	CNPAE 170	2,07	1,73	3,13	4,15	3,41	2,90B
	CNPAE 190	4,59	4,46	4,19	3,98	3,15	4,08A
	UFRRJ 346	1,05	1,22	0,86	1,22	1,02	1,08C
	UFRRJ 858	0,87	0,94	0,75	0,92	0,89	0,87C
	Média <sup>ns</sup>	2,15	2,09	2,23	2,57	2,12	
Número de Folha	CNPAE 170	1,7	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3B
	CNPAE 190	2,7	1,8	1,8	1,7	1,0	1,8A
	UFRRJ 346	2,0	2,0	1,3	1,3	0,8	1,5B
	UFRRJ 858	2,7	2,0	1,5	1,2	1,0	1,7A
	Média	2,3a	1,8b	1,5b	1,4b	1,0d	
Altura da Planta (cm)	CNPAE 170	4,4	4,1	2,8	2,0	2,5	3,2A
	CNPAE 190	3,5	3,8	3,2	2,3	0,9	2,7B
	UFRRJ 346	2,8	3,0	1,9	1,9	1,3	2,2C
	UFRRJ 858	2,3	2,3	2,2	1,7	0,8	1,8C
	Média	3,3a	3,3a	2,5b	2,0c	1,4d	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup>Não significativo

O diâmetro do caule diferiu apenas entre os acessos de pinhão manso, não havendo diferenças significativas quanto às doses de Al. O acesso CNPAE-190 apresentou maior diâmetro do caule, tendo como média o valor de 4,08mm após a aplicação dos tratamentos, seguido pelos acessos CNPA-170, 2,9mm e os dois últimos, que não diferiram estatisticamente entre si, apresentando os valores de 1,08 e 0,87mm para os acessos UFRRJ-346 e UFRRJ-858, respectivamente (Tabela 14). O diâmetro do caule é uma característica importante a se observar, uma vez que, segundo Guimarães (2008), quanto maior o seu valor, maior o vigor, a robustez e a resistência da planta, logo, pode-se inferir que, para essa variável, o acesso CNPAE-190 se torna candidata à futuros programas para melhoramento da cultura quanto a tolerância ao Al.



**Figura 19.** Crescimento inicial de diferentes acessos de pinhão manso em função de doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

O número de folhas obtidas após a aplicação dos tratamentos variou tanto em relação às doses de Al aplicadas na solução, quanto aos acessos de pinhão manso utilizados no experimento. Os acessos CNPAC-190 e UFRRJ-858 obtiveram maior quantidade de folhas com aplicação dos tratamentos, seguidos pelos acessos CNPAC-170 e UFRRJ-346. Com o aumento das doses de Al aplicadas, houve uma redução no ganho de folhas pelas plantas, sendo a maior dose apresentando o valor médio de 1 folha, já na dose 0, houve um ganho médio de 2,3 folhas por planta (Tabela 14). Lana et al. (2013) também observaram redução no número de folhas por planta com o aumento na dose de Al. Avaliando área foliar de pinhão manso em relação a doses crescentes de Al em solução nutritiva, diversos autores encontraram redução em relação a essa variável (Gordin et al., 2013; Steiner et al., 2012; Lana et al., 2009).

Para a altura das plantas, houve diferença entre os acessos utilizados e entre as doses crescentes de Al aplicadas na solução nutritiva. O acesso CNPAC-170 apresentou maior ganho de altura das plantas após aplicação dos tratamentos, obtendo 3,2cm de altura, seguido pelo acesso CNPAC-190, 2,7cm, e pelos acessos UFRRJ-346 e UFRRJ-858, que não diferiram estatisticamente entre si, apresentando 2,2 e 1,8cm de ganho na altura das plantas, respectivamente. A maior dose Al aplicada, promoveu um ganho médio na altura das plantas de 1,4cm, já na dose 0, houve um acréscimo de 3,3cm de altura das plantas (Tabela 14). Os poucos trabalhos existentes com pinhão manso em relação a fitotoxicidade do Al demonstram que o aumento das doses de Al em solução nutritiva causa redução na altura das plantas (Gordin et al., 2013; Steiner et al., 2012; Lana et al., 2009). Em outras oleaginosas, como a mamona e amendoim, por exemplo, esse mesmo efeito são observados pelos autores Lima et al. (2007) e Aquino et al. (2013), respectivamente.

Na Tabela 15 são apresentados os ajustes de regressão para as variáveis de crescimentos em função da aplicação das doses crescentes de Al na solução por acessos de pinhão manso.

**Tabela 15.** Ajustes de regressão para ganho nos valores de comprimento linear da raiz (CR), diâmetro do caule (D. Caule), número de folhas (NF) e altura da planta (Alt. Planta) de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Acesso	Variável	Equação	R <sup>2</sup>
CNPAAE-170	CR (cm)	$Y = 12,4229 - 0,126833^{***}Dose$	0,4859
	D. Caule (mm)	$\hat{Y} = 2,90$	-
	NF	$\hat{Y} = 1,3$	-
	Alt. Planta (cm)	$\hat{Y} = 3,17$	-
CNPAAE-190	CR (cm)	$Y = 11,4437 - 0,10917^{***}Dose$	0,7007
	D. Caule (mm)	$\hat{Y} = 4,08$	-
	NF	$\hat{Y} = 1,8$	-
	Alt. Planta (cm)	$Y = 2,9167 + 0,8774^{\circ}Dose - 0,2560^{***}Dose^2$	0,6046
UFRRJ-346	CR (cm)	$Y = 13,2815 - 0,13742^{***}Dose$	0,7402
	D. Caule (mm)	$\hat{Y} = 1,08$	-
	NF	$\hat{Y} = 1,5$	-
	Alt. Planta (cm)	$Y = 2,19$	-
UFRRJ-858	CR (cm)	$Y = 11,3135 - 0,10992^{***}Dose$	0,5759
	D. Caule (mm)	$\hat{Y} = 0,87$	-
	NF	$\hat{Y} = 1,7$	-
	Alt. Planta (cm)	$\hat{Y} = 1,83$	-

°, \*\*\*significativo a 10 e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste T.

Todos os acessos apresentaram ajustes de regressão para o comprimento linear da raiz, onde o aumento da dose promoveu redução da mesma. O acesso CNPAAE-190 foi o único que obteve outra variável que apresentou ajuste de regressão, a altura da planta, tendo o mesmo comportamento da raiz, ou seja, com o aumento das doses de Al na solução houve uma redução de ganho na altura das plantas desse acesso (Tabela 15). As variáveis diâmetro do caule e número de folhas não teve ajuste de regressão, apresentando apenas seus valores médios na Tabela 15.

O primeiro efeito visual causado pela fitotoxicidade do Al é sobre o crescimento das raízes (Rossiello e Jacob Neto, 2006). Segundo estes autores, os efeitos fitotóxicos se manifestam sob a forma de redução na taxa de crescimento das raízes, que, como tal, é um fenômeno muito rápido. De acordo com Epstein e Bloom (2006), o Al nas raízes promove muitas mudanças, incluindo maior vazamento e rigidez da membrana, mas muitos dos mecanismos suspeitos respondem várias horas depois da exposição a Al<sup>3+</sup> e são provavelmente a consequência, não a causa, da redução no alongamento da raiz.

A Figura 19 demonstra o efeito fitotóxico do Al nas raízes dos acessos de pinhão manso, sendo que esses efeitos em função das doses crescentes representam bem a sequência de danos causados nas raízes com o aumento das doses de Al, de acordo com Rossiello e Jacob Neto (2006). Estes autores relatam que a redução da taxa de crescimento poderá ter caráter reversível ou não, dependendo da severidade de estresse; se for suficientemente severo, poderá levar à morte às células da zona meristemática, ou de tecidos corticais. Em níveis intermediários, pode ocorrer o aparecimento de áreas manchadas de cor marrom-castanho pouco atrás da região meristemática, assim como na epiderme das regiões novas ou mais velhas. Com o passar dos dias, a exposição contínua ao Al produz alterações morfológicas características: as raízes engrossam e tornam-se curtas, com aspecto quebradiço, desenvolvendo uma coloração castanha, principalmente na região apical.

Os autores Gordin et al. (2013), Lana et al. (2013) e Steiner et al. (2012) também encontraram resposta semelhante em relação ao efeito negativo do aumento das doses de Al na redução do crescimento radicular em plantas de pinhão manso.

Houve interação significativa entre as doses de Al aplicadas e os acessos de pinhão manso em relação à massa da matéria seca da raiz e do pecíolo. A massa seca do caule, da folha e planta não apresentaram interação significativa, porém, diferiram entre acessos e doses de Al aplicadas (Tabela 16).

Em relação às variáveis da massa seca da raiz e massa seca do pecíolo, entre as doses de Al aplicadas, os acessos CNPAE-170, UFRRJ-346 e UFRRJ-858, apresentaram maior massa seca da raiz na dose de  $12,5\mu\text{mol L}^{-1}$ , reduzindo com o aumento das doses (Tabela 16). Esse efeito é conhecido como hormese, onde o uso de substâncias, por definição consideradas tóxicas, em doses muito menores que a utilizada, estimula o desenvolvimento vegetal (Calabrese e Baldwin, 2002). Rossiello e Jacob Net (2006) citam diversos trabalhos que apresentam culturas como arroz, milho, trigo e plantas de pepino que tiveram estímulo no desenvolvimento radicular com baixas doses de Al. Os autores relataram que os resultados encontrados nos trabalhos foram atribuídos ao efeito de hormese à mitigação da toxidez do  $\text{Al}^{3+}$ . Já entre acessos, houve diferença entre os mesmos, sendo que o acesso CNPAE-170 obteve os maiores valores dentre todas as doses aplicadas. O acesso UFRRJ-858 apresentou os menores valores dentro de todas as doses de Al aplicadas quando comparadas aos demais acessos (Tabela 16).

Para a variável massa seca do caule, os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 foram superiores estatisticamente e apresentaram os maiores valores, 1,72 e 1,90g, respectivamente. O acesso UFRRJ-346 apresentou o valor de 1,46g diferindo estatisticamente do o acesso UFRRJ-858, que obteve como massa seca do caule, 1,12g. Em relação às doses de Al, houve diferenças entre as mesmas, porém, as doses 50 e  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  foram iguais estatisticamente com a dose 0. Veloso et al (1995) encontraram ganhos superiores de massa seca do caule de pimenta do reino nas doses de Al de 5 a  $20\text{mg L}^{-1}$  maiores que na dose 0. Os autores alegam que em plantas tolerantes, os efeitos de baixas concentrações de Al pode trazer benefícios quanto a indução no aumento do crescimento e ou produzir efeitos desejáveis às plantas.

Os valores de massa seca da folha foram diferentes entre os acessos, sendo o acesso CNPAE-170 superior, seguido pelos acessos CNPAE-190, UFRRJ-346 e UFRRJ-858, respectivamente. Em relação às doses de Al, para a massa seca da folha, quanto maior a dose aplicada, menor foi o valor da massa das folhas (Tabela 16). Nos trabalhos sobre resposta de pinhão manso à doses crescentes  $\text{Al}^{3+}$ , não apresentam massa seca da folha separadamente como no presente trabalho, porém, expõem uma variável, área foliar, que está diretamente ligado a massa seca da mesma, e quando há aumento na dose de Al há um decréscimo linear da área foliar (Gordin et al., 2013; Lana et al., 2013; Steiner et al., 2012; Lana et al., 2009), assumindo essa relação direta, pode-se inferir que esses resultados encontrados corroboram com os resultados do presente trabalho.

Para a massa seca total das plantas (MSTP) de pinhão manso, os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 foram estatisticamente iguais, com os valores de 5,84 e 5,44g, respectivamente, seguido pelo acesso UFRRJ-346, 4,33g e por último o acesso UFRRJ-858, 3,32g de massa seca. Quanto às doses de Al aplicadas na solução, a maior dose proporcionou o menor valor de massa seca da planta, indicando que, mesmo que um acesso se sobressaia a outro, todos apresentam sensibilidade a aplicação de doses crescentes de Al (Tabela 16).

Observa-se que as doses 0 e  $12,5\mu\text{mol L}^{-1}$  não diferiram estatisticamente, podendo inferir que até “certa” quantidade de Al disponível na solução, a planta de pinhão manso se beneficia em termos de ganho de massa seca (Tabela 16). O efeito de hormese (Calabrese e Baldwin, 2002), como discutido anteriormente, pode ser atribuído aos resultados encontrados para essa variável.

**Tabela 16.** Média dos valores de massa da matéria seca em gramas de raiz, caule, pecíolo, folha e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
Raiz (g)	CNPAE 170	1,28Ab	1,45Aa	1,14Ac	0,98Ad	0,57Ae	-
	CNPAE 190	1,18Aa	1,01Bc	1,10Ab	0,89Bd	0,60Ae	-
	UFRRJ 346	0,86Bb	0,95Ba	0,82Bc	0,67Cd	0,59Ae	-
	UFRRJ 858	0,63Cb	0,74Ca	0,64Cb	0,57Dc	0,43Bd	-
Caule (g)	CNPAE 170	1,83	1,61	1,37	1,96	1,84	1,72A
	CNPAE 190	1,70	1,55	1,62	2,22	2,40	1,90A
	UFRRJ 346	1,47	1,35	1,15	1,70	1,65	1,46B
	UFRRJ 858	1,45	0,94	0,87	1,00	1,32	1,12C
	Média	1,61a	1,37b	1,25b	1,72a	1,81a	
Pecíolo (g)	CNPAE 170	0,62Aa	0,60Aa	0,45Ab	0,43Ad	0,40Ae	-
	CNPAE 190	0,59Aa	0,57Ab	0,45Ac	0,49Bd	0,35Be	-
	UFRRJ 346	0,43Bb	0,53Aa	0,40Bc	0,35Bd	0,44Cb	-
	UFRRJ 858	0,37Bb	0,35Bb	0,42Ba	0,41Ca	0,36Cb	-
Folha (g)	CNPAE 170	3,13	2,92	2,70	2,27	1,64	2,53A
	CNPAE 190	2,61	2,42	2,08	1,82	1,51	2,09B
	UFRRJ 346	2,03	2,05	1,50	1,38	1,32	1,66C
	UFRRJ 858	1,53	1,40	1,36	0,98	0,79	1,21D
Média	2,33a	2,20a	1,91b	1,61c	1,32d		
Planta (g)	CNPAE 170	6,86	6,59	5,67	5,65	4,46	5,84A
	CNPAE 190	6,08	5,56	5,26	5,43	4,87	5,44A
	UFRRJ 346	4,80	4,88	3,87	4,09	4,00	4,33B
	UFRRJ 858	3,99	3,44	3,29	2,97	2,90	3,32C
Média	5,43a	5,11a	4,52b	4,54b	4,06b		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

Em relação às variáveis MSF, MSR e MSPE houve ajuste de regressão em função da aplicação das doses de Al na solução (Tabela 17). O acesso CNPAE-170 apresentou ajustes de regressão na massa seca da folha e massa seca da raiz, onde o incremento das doses de Al na solução promoveu redução linear no ganho de massa seca para essas variáveis (Tabela 17). Já no acesso CNPAE-190 houve ajuste de regressão para as variáveis massa seca da folha, massa seca do pecíolo e massa seca da raiz, onde o incremento das doses de Al na solução, também promoveu redução linear no ganho de massa seca dessas variáveis. O acesso UFRRJ-346 apresentou ajuste de regressão apenas para a massa seca da folha, onde o incremento das doses de Al promoveu redução no ganho de massa dessa variável, diferindo dos acessos anteriores, a resposta foi quadrática, onde a dose de  $79\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu o menor valor de 1,24gramas. O acesso UFRRJ-858 não apresentou ajuste de regressão para as variáveis de massa seca (Tabela 17).

**Tabela 17.** Ajustes de regressão para massa da matéria seca de folha, pecíolo, caule, raiz e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Acesso	Variável (g)	Equação	R <sup>2</sup>
CNPAE-170	Folha	$Y = 3,08963 - 0,01488^{***}Dose$	0,6100
	Pecíolo	$\hat{Y} = 0,502$	-
	Caule	$\hat{Y} = 1,72$	-
	Raiz	$Y = 1,3908 - 0,008093^{***}Dose$	0,6389
	Planta	$\hat{Y} = 5,845$	-
CNPAE-190	Folha	$Y = 2,4913 - 0,01072^{***}Dose$	0,5632
	Pecíolo	$Y = 0,5775 - 0,002227^{***}Dose$	0,6204
	Caule	$\hat{Y} = 1,90$	-
	Raiz	$Y = 1,1647 - 0,005547^{***}Dose$	0,6696
	Planta	$\hat{Y} = 5,44$	-
UFRRJ-346	Folha	$Y = 2,1099 - 0,02228^{***}Dose + 0,0001439^{**}Dose^2$	0,5347
	Pecíolo	$\hat{Y} = 0,43$	-
	Caule	$\hat{Y} = 1,46$	-
	Raiz	$Y = 0,78$	-
	Planta	$\hat{Y} = 4,33$	-
UFRRJ-858	Folha	$\hat{Y} = 1,21$	-
	Pecíolo	$\hat{Y} = 0,38$	-
	Caule	$\hat{Y} = 1,12$	-
	Raiz	$\hat{Y} = 0,60$	-
	Planta	$\hat{Y} = 3,31$	-

\*\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T.

Mesmo sendo apenas dois acessos que ajustaram regressão para massa seca da raiz, CNPAE-170 e CNPAE-190, é a parte da planta que reflete melhor os efeitos, sejam eles estimulantes ou inibitórios, com o aumento das doses de Al aplicadas (Rossiello e Jacob Neto, 2006). Outra observação a ser feita é que os acessos, UFRRJ-346 com ajuste de regressão apenas para massa seca de folha, e UFRRJ-858 que não apresentou ajustes de regressão para nenhuma das variáveis de massa seca, podem ser considerados como possíveis candidatos à programas futuros quanto ao melhoramento da cultura voltado para tolerância ao Al tendo a variável massa seca como referência.

### 5.5.3 Pigmentos fotossintéticos

Não houve interação entre as doses de Al para os pigmentos fotossintéticos analisados tanto pelo medidor Clorofilog quanto pelo extrator DMSO e para a variável área foliar, Al (Tabela 18).

Em relação aos pigmentos extraídos com DMSO (Tabela 18), a clorofila a, apresentou diferença entre acessos, sendo o CNPAE-170 com maior valor, seguido pelos demais acessos. As doses de Al aplicadas na solução favoreceram distintas respostas quanto aos valores médios de clorofila a, sendo a dose de 12,5 e 50  $\mu\text{mol L}^{-1}$  superiores as demais doses, ou seja, 0 e 25  $\mu\text{mol L}^{-1}$  seguidas então pela dose de 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al (Tabela 18).

**Tabela 18.** Média dos valores dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total) e área foliar da planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
Clorofila a ( $\mu\text{molm}^{-2}$ )	CNPAAE 170	418,6	487,9	431,0	474,6	352,1	432,8A
	CNPAAE 190	393,5	424,4	381,0	409,0	365,6	394,7B
	UFRRJ 346	421,9	407,1	350,9	473,1	398,1	410,2B
	UFRRJ 858	341,9	365,0	375,9	393,2	285,7	352,3C
	Média	394,0b	421,1a	384,7b	437,5a	350,4c	
Clorofila b ( $\mu\text{molm}^{-2}$ )	CNPAAE 170	140,8	165,4	144,1	172,6	126,7	149,9A
	CNPAAE 190	135,7	152,5	133,8	145,0	132,5	139,9A
	UFRRJ 346	144,1	139,2	126,8	166,3	144,6	144,2A
	UFRRJ 858	117,9	124,7	131,3	138,3	106,0	123,6B
	Média <sup>ns</sup>	134,6	145,4	134,0	155,6	127,4	
Clorofila total ( $\mu\text{molm}^{-2}$ )	CNPAAE 170	91,9	100,4	95,2	97,7	71,5	91,4A
	CNPAAE 190	97,4	99,5	90,4	90,9	66,2	88,9B
	UFRRJ 346	98,0	94,5	81,8	105,2	84,9	92,9B
	UFRRJ 858	95,6	105,3	81,5	77,3	68,4	85,6C
	Média	95,7b	99,9a	87,2b	92,8a	72,7c	
Carotenoides ( $\mu\text{molm}^{-2}$ )	CNPAAE 170	559,4	653,2	575,1	647,2	478,8	582,7 <sup>ns</sup>
	CNPAAE 190	529,1	576,9	514,8	554,0	498,1	534,6
	UFRRJ 346	566,0	546,3	477,7	639,4	542,7	554,4
	UFRRJ 858	459,9	489,7	507,2	531,6	391,6	476,0
	Média	528,6b	566,5a	518,7b	593,0b	477,8c	
Clorofila a (Falker®)	CNPAAE 170	25,1	25,5	25,2	25,8	22,6	24,8A
	CNPAAE 190	23,8	24,9	24,1	23,9	22,0	23,7A
	UFRRJ 346	23,6	24,8	23,8	24,9	23,8	24,2A
	UFRRJ 858	23,1	21,8	22,9	23,8	21,0	22,5B
	Média	23,9a	24,2a	24,0a	24,6a	22,3b	
Clorofila b (Falker)	CNPAAE 170	14,2	13,1	13,1	14,6	11,2	13,2A
	CNPAAE 190	11,9	11,7	11,7	12,0	10,8	11,6B
	UFRRJ 346	11,5	11,9	11,6	12,8	11,7	11,9B
	UFRRJ 858	10,6	10,8	9,9	11,8	8,3	10,3C
	Média	12,0a	11,9a	11,6a	12,8a	10,5b	
Clorofila total (Falker)	CNPAAE 170	39,3	38,6	38,2	40,4	33,9	38,1A
	CNPAAE 190	35,7	36,7	35,9	35,9	32,8	35,4B
	UFRRJ 346	35,2	36,7	35,4	37,7	35,7	36,2B
	UFRRJ 858	33,9	32,8	33,1	35,6	29,7	33,0C
	Média	36,0a	36,2a	35,7a	37,4a	33,0b	
Área Foliar ( $\text{cm}^2$ )	CNPAAE 170	710	527	366	378	263	449A
	CNPAAE 190	536	528	342	367	272	409A
	UFRRJ 346	409	553	255	256	213	337A
	UFRRJ 858	302	287	228	159	125	220B
	Média	489a	474a	298b	290b	218b	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup>Não significativo

Para a clorofila b, apenas o acesso UFRRJ-858 diferenciou dos demais acessos, tendo o menor valor,  $123,6\mu\text{mol m}^{-2}$ . Já em relação às doses de Al na solução, não houve diferença significativa. Os valores de carotenoides não apresentaram diferença estatística entre acessos, apenas entre as doses de Al aplicadas na solução. Sendo a dose de  $12,5\mu\text{mol L}^{-1}$  resultando no maior valor de carotenoide,  $566,5\mu\text{mol m}^{-2}$ , diferindo estatisticamente das demais doses.

Os valores de clorofila a, b e total obtidos com o Clorofilog Falker® também não apresentaram interação entre os acessos de pinhão manso e doses de Al aplicadas na solução (Tabela 18). A clorofila a, em relação aos acessos de pinhão manso, apresentou diferença



apenas no acesso UFRRJ-858, com o valor de 22,5, que foi o menor, sendo os demais acessos iguais estatisticamente. Nas doses de Al na solução, a maior dose,  $100\mu\text{mol L}^{-1}$ , apresentou o menor valor e foi a única que diferiu estatisticamente das demais doses.

Já a clorofila b, teve distintas respostas quanto aos acessos, sendo o acesso CNPAE-170 apresentando o maior valor 13,2, seguido pelos acessos CNPAE-190 e UFRRJ-346, iguais estatisticamente, com os valores obtidos, 11,6 e 11,9, respectivamente, e por último o acesso UFRRJ-858 com o valor 10,3 (Tabela 18). Quanto às doses de Al aplicadas na solução, a clorofila b teve o mesmo comportamento que a clorofila a, ou seja, a maior dose de Al aplicada na solução foi a que resultou no menor valor, 10,5, sendo as demais doses iguais estatisticamente.

A clorofila total, em relação aos acessos, teve o mesmo comportamento para a clorofila b, ou seja, o maior valor encontrado foi no acesso CNPAE-170, 38,1, seguidos pelos demais acessos. Com a aplicação das doses de Al na solução, a maior dose,  $100\mu\text{mol L}^{-1}$ , foi a que resultou no menor valor encontrado, 33,0, sendo os valores das demais doses iguais estatisticamente (Tabela 18).

Gordin et al. (2013) conseguiram avaliar índice de clorofila em plantas de pinhão manso submetidas até  $185\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução nutritiva, onde nesta dose o índice de clorofila foi menor que na dose 0. De acordo com Pereira et al. (2010), o Al pode causar dano oxidativo pela inibição do ácido aminolevulínico desidratase, importante na biossíntese da clorofila, dessa forma, a concentração reduzida da clorofila pode refletir os danos induzidos pelo Al em folhas verdes.

Para a área foliar, o acesso UFRRJ-858 foi o único que diferiu estatisticamente entre os acessos, apresentando o menor valor de  $220\text{cm}^2$ . O aumento das doses de Al aplicadas à solução nutritiva promoveu redução da área foliar. A dose de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu uma redução de mais de 44% em relação à dose  $0\mu\text{mol L}^{-1}$ , com valor de  $218\text{cm}^2$  (Tabela 18).

Segundo Hartwig et al. (2007), o Al ocasiona injúrias na parede celular, na membrana plasmática, no citoesqueleto e no núcleo celular, prejudicando a divisão e a expansão celular, e conseqüentemente, a expansão das folhas implicando em folhas de menor área.

Em relação ao ajuste de regressão para os pigmentos fotossintéticos, apenas os acessos CNPAE-190, com a variável carotenoide, e UFRRJ-858, com as variáveis clorofila a, clorofila b e clorofila total, apresentaram ajustes de equação. Os demais acessos, CNPAE-170 e UFRRJ-346, não tiveram ajustes dessas variáveis (Tabela 19). A variável área foliar não apresentou ajuste de regressão para todos os acessos de pinhão manso (Tabela 19). Portanto, essas variáveis não devem ser usadas como critério para seleção em programas de melhoramento da cultura.

**Tabela 19.** Ajustes de regressão para massa seca de folha, pecíolo, caule, raiz e planta de diferentes acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Acesso	Variável ( $\mu\text{mol m}^{-2}$ )	Equação	R <sup>2</sup>
CNPAAE-170	Clorofila a	$\hat{Y} = 432,8$	-
	Clorofila b	$\hat{Y} = 149,9$	-
	Clorofila total	$\hat{Y} = 582,7$	-
	Carotenoide	$\hat{Y} = 91,4$	-
	Clorofila a F <sup>#</sup>	$\hat{Y} = 24,8$	-
	Clorofila b F	$\hat{Y} = 13,2$	-
	Clorofila total F	$\hat{Y} = 38,1$	-
	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	$\hat{Y} = 448,8$	-
CNPAAE-190	Clorofila a	$\hat{Y} = 394,7$	-
	Clorofila b	$\hat{Y} = 139,9$	-
	Clorofila total	$\hat{Y} = 534,6$	-
	Carotenoide	$Y = 100,876 - 0,31957^{***}\text{Dose}$	0,6757
	Clorofila a F	$\hat{Y} = 23,7$	-
	Clorofila b F	$\hat{Y} = 11,6$	-
	Clorofila total F	$\hat{Y} = 35,4$	-
	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	$\hat{Y} = 408,9$	-
UFRRJ-346	Clorofila a	$\hat{Y} = 410,2$	-
	Clorofila b	$\hat{Y} = 144,2$	-
	Clorofila total	$\hat{Y} = 554,4$	-
	Carotenoide	$\hat{Y} = 92,9$	-
	Clorofila a F	$\hat{Y} = 24,2$	-
	Clorofila b F	$\hat{Y} = 11,9$	-
	Clorofila total F	$\hat{Y} = 36,2$	-
	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	$\hat{Y} = 337,3$	-
UFRRJ-858	Clorofila a	$Y = 339,145 + 2,4848^{***}\text{Dose} - 0,030109^{***}\text{Dose}^2$	0,7422
	Clorofila b	$Y = 116,414 + 0,90637^{***}\text{Dose} - 0,010077^{***}\text{Dose}^2$	0,6123
	Clorofila total	$Y = 455,559 + 3,39115^{***}\text{Dose} - 0,040186^{***}\text{Dose}^2$	0,7452
	Carotenoide	$\hat{Y} = 85,6$	-
	Clorofila a F	$\hat{Y} = 22,5$	-
	Clorofila b F	$\hat{Y} = 10,3$	-
	Clorofila total F	$\hat{Y} = 33,0$	-
	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	$\hat{Y} = 220,4$	-

\*\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T.

<sup>#</sup>Clorofilog CFL 1030 Falker®

A variável de carotenoide do acesso CNPAAE-190 apresentou ajuste de equação de regressão linear, onde o aumento da aplicação das doses de Al na solução promoveu redução linear dos seus valores (Tabela 19). Para as variáveis clorofila a, clorofila b e clorofila total do acesso URRJ-858, extraídas com DMSO, apresentaram ajustes de equações de regressão quadrática. Com a aplicação de  $40,1 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução, obteve-se o valor de  $390,4 \mu\text{mol m}^{-2}$  para a clorofila a. Para clorofila b, a aplicação de  $44,9 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução, obteve-se o valor de  $136,8 \mu\text{mol m}^{-2}$ . A clorofila total apresentou o valor de  $527,1 \mu\text{mol m}^{-2}$  com a aplicação da dose de  $42,2 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução (Tabela 19).

Corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho, Tabalbi et al. (2007), encontraram redução linear nos valores de carotenoides em clones de batata com o aumento nas doses de Al na solução nutritiva. Os autores Gordin et al. (2013) encontraram redução no índice de clorofila nas folhas de pinhão manso na presença de  $\text{Al}^{3+}$  na solução nutritiva. Já Aquino et al. (2013), trabalhando com amendoim, encontraram redução linear no teor de clorofila com o aumento de doses de Al em solução nutritiva.

Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas a e b, carotenoides) são essenciais para o desenvolvimento de uma planta, pois são responsáveis pela captura da energia solar incidente usada na fotossíntese (Epstein e Bloom, 2006). Ter esses parâmetros como referência quanto à

fitotoxicidade do Al se tornam interessantes, porém, o decréscimo nos teores dos pigmentos fotossintéticos vai depender da espécie, do cultivar, tempo de exposição e concentração de Al na solução nutritiva (Codognotto et al., 2002; Peixoto et al., 2007; Miguel et al. 2010; Aquino et al., 2013). Em função dessas variações de respostas, essas variáveis não podem ser utilizadas como critérios em programas de melhoramento da cultura.

#### **5.5.4 Teores e acúmulo de nutrientes**

Os teores de nutrientes foram analisados em partes seccionadas dos acessos de pinhão manso, sendo folha, pecíolo, caule e raiz (Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23).

Em relação aos teores de nutrientes e Al nas folhas, houve interação entre acessos e doses de Al aplicadas em solução apenas para os nutrientes P, Ca e Mg (Tabela 20). Para o teor de N na folha, não houve diferença entre os acessos, somente entre as doses de Al aplicadas na solução, onde a dose de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu o menor teor,  $24,88\text{g kg}^{-1}$ , diferindo estatisticamente das demais doses. Miguel et al. (2010) relatam que as altas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  interferem no metabolismo do N, elemento essencial para a síntese de aminoácidos.

O teor de P na folha apresentou comportamento distinto entre os acessos de pinhão manso com as doses de Al, porém, as maiores doses de  $\text{Al}^{3+}$  na solução, promoveram os menores teores, independente do acesso de pinhão manso (Tabela 20). Steiner et al. (2012) também observaram redução nos teores de P em folhas de pinhão manso com o incremento de  $\text{Al}^{3+}$  na solução nutritiva. Os teores observados nos tratamentos sem Al apresentam-se superiores aos relatados por diversos autores em relação à nutrição mineral do pinhão manso, como Silva et al., (2010), Prates et al. (2011) e Gusmão (2010).

**Tabela 20.** Média dos teores de nutrientes e Al na folha de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	37,21	40,94	39,10	30,54	24,54	34,47 <sup>ns</sup>
	CNP AE 190	35,34	40,10	40,40	38,02	23,82	35,54
	UFRRJ 346	40,26	40,93	27,54	36,32	26,43	34,30
	UFRRJ 858	39,31	38,98	38,50	33,95	24,73	35,09
	Média	38,03a	40,24a	36,39a	34,71a	24,88b	
P Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	6,06Ab	6,17Ca	5,58Dc	3,63Ce	4,55Bd	-
	CNP AE 190	6,50Ab	6,62Ca	6,44Cc	5,31Bd	3,26De	-
	UFRRJ 346	7,38Aa	7,11Bb	6,81Bc	5,51Bd	4,19Ce	-
	UFRRJ 858	7,09Ad	8,37Aa	8,22Ab	7,42Ac	6,30Ae	-
	Média	6,85a	7,11b	6,85b	5,56b	4,57c	
K Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	43,57	44,36	42,64	27,79	18,41	35,35A
	CNP AE 190	40,29	36,59	35,77	32,01	11,44	31,22B
	UFRRJ 346	45,69	39,90	37,86	30,31	18,30	34,41A
	UFRRJ 858	44,93	39,58	37,98	31,05	16,60	34,03A
	Média	43,62a	40,11b	38,56b	30,29c	16,19d	
Ca Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	25,38Aa	24,85Ac	25,49Aa	13,05Dd	10,61De	-
	CNP AE 190	22,99Ac	24,19Ab	23,17Ba	16,06Cd	12,01Ce	-
	UFRRJ 346	22,08Aa	20,77Bd	21,65Ca	19,10Ac	11,96Be	-
	UFRRJ 858	21,40Ac	23,58Aa	22,30Cb	18,02Bd	13,08Ae	-
	Média	22,94a	23,34a	23,04a	17,56b	12,11c	
Mg Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	9,45Ab	9,12Ac	9,68Aa	6,25Dd	4,56De	-
	CNP AE 190	8,87Ac	9,07Ab	9,15Ba	6,64Cd	5,36Ce	-
	UFRRJ 346	8,29Bb	7,86Bd	8,41Ca	8,17Ac	6,03Be	-
	UFRRJ 858	8,19Bc	8,62Aa	8,42Cb	7,46Bd	6,49Ae	-
	Média	8,45a	8,62a	8,66a	7,48b	6,34c	
Cu Folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	5,05	5,03	5,40	2,97	3,93	4,48B
	CNP AE 190	8,12	7,51	7,22	5,79	3,06	6,34A
	UFRRJ 346	7,35	6,78	7,24	5,05	4,58	6,20A
	UFRRJ 858	6,86	6,12	5,73	4,94	5,10	5,75A
	Média	6,85a	6,36a	6,40a	4,69b	4,17b	
Mn Folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	254,60	261,98	284,56	128,01	64,17	198,66B
	CNP AE 190	248,83	243,01	243,39	127,79	47,36	182,08B
	UFRRJ 346	319,07	324,23	270,79	177,20	83,37	234,93A
	UFRRJ 858	364,33	324,80	279,04	144,39	58,07	234,12A
	Média	296,70a	288,50a	269,45a	144,35b	63,24c	
Fe Folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	287,04	299,68	372,26	211,68	190,43	272,22B
	CNP AE 190	424,09	359,82	366,91	230,04	211,46	318,46A
	UFRRJ 346	371,96	361,45	330,58	245,15	213,35	304,50A
	UFRRJ 858	363,97	324,04	332,33	209,19	241,41	294,18B
	Média	361,76a	336,24a	350,52a	224,01b	214,16b	
Zn Folha ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	60,66	64,84	63,96	37,81	27,44	50,94A
	CNP AE 190	61,99	60,52	59,98	36,95	24,21	48,73A
	UFRRJ 346	50,30	49,45	52,36	35,86	27,34	43,06B
	UFRRJ 858	52,58	46,49	46,45	38,65	27,70	42,37B
	Média	56,38a	55,33a	55,69a	37,32b	26,67c	
Al Folha ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNP AE 170	0,054	0,052	0,052	0,056	0,056	0,054 <sup>ns</sup>
	CNP AE 190	0,046	0,060	0,062	0,064	0,064	0,059
	UFRRJ 346	0,054	0,054	0,060	0,064	0,064	0,059
	UFRRJ 858	0,050	0,048	0,050	0,058	0,062	0,054
	Média	0,051b	0,054b	0,056b	0,061a	0,062a	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

O acesso CNPAE-190 apresentou o menor teor de K,  $31,22\text{g kg}^{-1}$ , os demais acessos foram superiores e não diferiram estatisticamente entre si. Em relação às doses de  $\text{Al}^{3+}$ , com o aumento das doses, houve um decréscimo no teor de K nas folhas (Tabela 20). Segundo

Tabaldi et al. (2007) e Miguel et al. (2010), as plantas que não apresentam tolerância ao Al, e que são expostas a esse elemento tóxico, apresentam deficiência para os teores de K, P, Ca e Mg e Mn, uma vez que, ele interfere no processo de absorção, translocação e transporte de nutrientes. Malavolta (2006) destaca que uma das consequências da fitotoxicidade do Al nas plantas é a redução na absorção de nutrientes como K, Ca e Mg. Freitas et al. (2006) encontraram correlações entre os teores de Al na solução nutritiva e a absorção de P, Mg, Ca e K e o desenvolvimento do sistema radicular em genótipos de arroz.

Houve interação entre acessos de pinhão manso e doses de Al na solução nutritiva para os teores de Ca e Mg nas folhas. Em relação ao comportamento dos acessos para as doses, observa-se que na dose  $0\mu\text{mol L}^{-1}$ , não houve diferença para o Ca, já o Mg, os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 foram superiores aos acessos UFRRJ-346 e UFRRJ-858. De modo geral, os teores de Ca e Mg permaneceram com valores próximos até a dose  $25\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução nutritiva, as doses de 50 e  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveram uma severa redução nos teores de Ca e Mg para todos os acessos (Tabela 20). Corroborando com os resultados, Steiner et al. (2012) encontraram redução nos teores de Ca, Mg e P nas folhas e raízes de pinhão manso com o incremento nas doses de Al na solução nutritiva.

Em relação aos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn, houve redução nos seus teores nas folhas com o aumento das doses de Al na solução nutritiva. Já em comparação entre acessos, cada nutrientes apresentou um comportamento distinto, onde o Cu, teve o menor teor médio no acesso CNPAE-170,  $4,48\text{mg kg}^{-1}$ , diferindo dos demais acessos. O Mn apresentou os menores teores nos acessos CNPAE-170 e CNPAE-190, com 198 e  $182\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Já o Fe apresentou os menores valores nos acessos CNPAE-170 e UFRRJ-858, com os valores 272 e  $295\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 obtiveram os menores teores de Zn em suas folhas com os valores de 50 e  $48\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

A absorção de nutrientes pelas plantas expostas ao Al em solução nutritiva é severamente reduzida, principalmente em função da rápida redução do crescimento do sistema radicular (Tabela 15) e uma interferência generalizada na absorção, no transporte e na utilização de vários nutrientes minerais, principalmente N, P, K, Mg, Fe, Mn, Cu e outros elementos (Pereira et al., 2010; Malavolta, 2006; Bonato et al., 2000).

Para os teores de  $\text{Al}^{3+}$  nas folhas, observa-se que não houve diferença entre os acessos de pinhão manso, já em relação às doses de Al na solução nutritiva, houve um acréscimo nos teores para as doses de 50 e  $100\mu\text{mol L}^{-1}$ , as doses de 0 a  $25\mu\text{mol L}^{-1}$  não diferiram entre si (Tabela 20). O Al acumula-se principalmente nas raízes das plantas e pouco do que é absorvido por elas é translocado para outros órgãos das plantas (Malavolta, 2006). Mossor-Pietraszewska (2001) descreve que o íon Al transloca-se muito lentamente para a parte superior das plantas.

Na Tabela 21 são apresentados os teores de nutrientes e de Al no pecíolo de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico. Os teores de N no pecíolo foram distintos entre acessos, sendo o acesso UFRRJ-858 superior aos demais, obtendo o valor de  $21,4\text{g kg}^{-1}$ . Em relação as doses de Al na solução nutritiva, quanto maior a dose maior foi a redução nos teores de N. Para o P, os acessos UFRRJ-346 e UFRRJ-858, foram superiores estatisticamente, com o incremento das doses de Al, houve também uma redução dos teores desse nutriente.

O K não apresentou diferença em relação aos acessos de pinhão manso, já em relação às doses, houve uma redução muito severa da dose 0 para a dose  $100\mu\text{mol L}^{-1}$ , indo de 115 para  $17,9\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 21). Dificilmente encontram-se trabalhos na literatura que apresentam teores de nutrientes em pecíolos, uma vez que em sua grande maioria, particionam a planta em raiz e parte aérea e/ou raiz e a parte aérea em caule e folhas. No entanto, Pacheco et al. (2006) avaliando o estado nutricional de mudas de 5 meses de

idade de pinhão manso, destacaram que os maiores teores de K foram observados nos pecíolos, seguidos pelos teores no limbo, caule e raiz.

Para os teores de Ca e Mg no pecíolo, não houve diferença em relação as doses crescentes de Al na solução nutritiva e para os acessos, apenas o Mg apresentou diferença, sendo o acesso CNPAE-170 com o valor de  $25,72\text{g kg}^{-1}$ , superior aos demais (Tabela 21). Pacheco et al. (2006) encontraram valores menores de Ca e Mg no pecíolo em comparação aos resultados no presente trabalho.

Em relação aos micronutrientes no pecíolo, apenas o Cu apresentou interação em relação as doses de Al aplicadas e os acessos de pinhão manso. Os teores Mn e Zn apresentaram diferença entre acessos e doses, e o Fe apresentou diferença apenas entre acessos, não diferindo quanto as doses de Al aplicadas na solução nutritiva. De maneira geral, todos os acessos tiveram os teores de Cu reduzido nas maiores doses de Al, já entre acessos, houve diferenças a partir da dose de  $25\mu\text{mol L}^{-1}$ , onde o acesso UFRRJ-858 foi sempre superior ou igual aos demais (Tabela 21). Pacheco et al. (2006) encontraram teores de micronutrientes no pecíolo próximos dos apresentados no presente trabalho. O  $\text{Al}^{3+}$  apresentou diferença entre acessos e doses, onde o acesso UFRRJ-858 foi superior aos demais com  $0,025\text{g kg}^{-1}$ . Para as doses, o comportamento foi idêntico ao da folha (Tabela 21).

**Tabela 21.** Média dos teores de nutrientes e Al no pecíolo de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	19,78	20,09	21,12	19,04	14,08	18,82C
	CNPAE 190	22,72	22,46	22,08	21,46	11,94	20,13B
	UFRRJ 346	20,23	19,73	22,04	19,61	17,78	19,88B
	UFRRJ 858	19,06	23,30	24,01	23,13	17,47	21,39A
	Média	20,45a	21,39a	22,31a	20,81a	15,32b	
P Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	3,64	3,49	3,31	1,16	0,89	2,50B
	CNPAE 190	4,61	4,11	3,43	1,78	0,64	2,91B
	UFRRJ 346	4,83	4,98	4,20	2,18	2,51	3,74A
	UFRRJ 858	3,59	5,02	4,50	2,73	1,63	3,50A
	Média	4,17a	4,40a	3,86a	1,96b	1,42b	
K Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	107,97	104,20	105,69	58,36	13,88	78,02 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	113,69	106,38	100,97	64,52	13,10	79,73
	UFRRJ 346	114,68	119,95	102,89	63,47	30,26	86,25
	UFRRJ 858	124,31	116,89	100,72	67,53	14,29	84,75
	Média	115,16a	111,85a	102,57b	63,47c	17,88d	
Ca Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	14,15	14,05	14,10	13,47	13,29	13,81A
	CNPAE 190	13,54	11,98	13,54	7,69	9,25	11,20A
	UFRRJ 346	10,34	9,09	10,33	11,60	8,44	9,96A
	UFRRJ 858	10,58	10,78	11,05	11,53	8,92	10,57A
	Média <sup>ns</sup>	12,15	11,47	12,26	11,07	9,98	
Mg Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	24,23	37,44	25,15	22,99	18,77	25,72A
	CNPAE 190	17,82	19,04	19,33	18,12	16,09	18,08B
	UFRRJ 346	14,21	15,73	14,79	15,70	12,26	14,54B
	UFRRJ 858	15,55	16,77	22,97	17,85	15,73	17,77B
	Média <sup>ns</sup>	17,95	22,25	20,56	18,66	15,71	
Cu Pecíolo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	3,95Ab	4,70Aa	4,68Ba	3,79Bd	3,60Ac	-
	CNPAE 190	5,28Aa	4,60Ab	4,40Bc	3,74Bd	3,41Ae	-
	UFRRJ 346	4,36Ab	4,51Aa	3,91Bc	2,99Bd	1,19Be	-
	UFRRJ 858	5,53Ab	3,77Ad	5,91Aa	4,24Ac	3,39Ae	-
Mn Pecíolo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	146,41	136,82	163,96	141,44	58,71	129,47B
	CNPAE 190	156,29	162,51	175,31	126,69	49,83	134,12B
	UFRRJ 346	169,89	188,84	207,81	140,88	120,84	165,65A
	UFRRJ 858	178,69	238,85	212,90	158,72	64,07	170,65A
	Média	162,82b	181,75a	189,99a	141,93b	73,36c	
Fe Pecíolo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	172,59	191,23	206,72	194,33	198,35	192,64B
	CNPAE 190	187,15	182,46	251,49	157,22	209,24	197,51B
	UFRRJ 346	192,97	257,73	290,04	340,73	219,08	260,11A
	UFRRJ 858	244,08	284,42	298,85	221,39	272,15	264,18A
	Média <sup>ns</sup>	199,20	228,96	261,77	228,42	224,71	
Zn Pecíolo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	69,29	77,54	77,39	63,79	48,24	67,25A
	CNPAE 190	66,80	69,42	71,29	51,80	29,68	57,80A
	UFRRJ 346	63,20	60,26	56,96	46,58	45,51	54,50A
	UFRRJ 858	55,78	70,71	75,53	57,70	46,88	61,32A
	Média	63,77a	69,48a	70,29a	54,96b	42,58c	
Al Pecíolo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	0,018	0,019	0,022	0,026	0,024	0,022B
	CNPAE 190	0,016	0,018	0,021	0,019	0,025	0,020B
	UFRRJ 346	0,018	0,018	0,022	0,026	0,025	0,022B
	UFRRJ 858	0,021	0,024	0,028	0,023	0,027	0,025A
	Média	0,018b	0,020b	0,023a	0,023a	0,025a	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

O Ca e o Mg foram os únicos que apresentaram interação quanto aos teores de nutrientes no caule (Tabela 22). De maneira geral, o incremento das doses de Al na solução

nutritiva, reduziu os teores de Ca e Mg. Já entre os acessos, não houve uma tendência de resposta para um ou outro, conforme pode ser observado na Tabela 22. Segundo Silva et al. (2009), o Ca e Mg são os nutrientes que mais interferem na produção de massa seca total das plantas de pinhão manso. Laviola e Dias (2008) afirmam que o Ca é o nutriente que mais se acumula no pinhão manso, principalmente no caule e raiz. Por ser um nutriente que faz parte da estrutura celular das plantas (Malavolta, 2006; Epstein e Bloom, 2006), assume importante papel para a cultura do pinhão manso.

O Mg, assim como o Ca, é um dos principais nutrientes acumulados no caule do pinhão manso. De acordo com Silva et al. (2010) o Mg foi um dos macronutrientes que mais limitou o crescimento inicial do pinhão manso seguido pelo P, essa limitação se justificou, segundo os autores, devido a alta taxa de crescimento durante a fase vegetativa juvenil da planta. Silva et al. (2009) afirmam que o Mg apresentou limitação na produção da MSTO estatisticamente semelhante ao Ca, mostrando a importância da calagem para essa cultura e que o uso de calcários dolomíticos são os mais indicados.

O aumento das doses de Al na solução nutritiva, fez com que os teores de N, P, K no caule reduzissem, com algumas variações entre doses para cada nutriente. A partir da dose de  $50\mu\text{mol L}^{-1}$ , houve redução significativa dos teores de N, P e K, com os valores de 16,9, 1,9 e  $29,5\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 22). Steiner et al. (2012) não detectou diferença para os teores de P na raiz de pinhão manso com o incremento de Al na solução nutritiva.

Em relação aos teores de micronutrientes no caule, apenas o Cu apresentou diferença entre acessos, o acesso CNPAE-170 apresentou o teor de  $10,7\text{mg kg}^{-1}$ , se destacou em relação aos demais acessos, porém entre as doses de Al na solução nutritiva, não houve diferença. Esse valor em destaque de Cu pelo acesso CNPAE-170, é considerado como adequado para a cultura do pinhão manso segundo Laviola e Dias (2008), porém Chaves et al. (2010) avaliando resposta de Zn e Cu no crescimento inicial de pinhão manso, encontrou teores muito inferiores a esse valor. Essa variação de respostas quanto a nutrição mineral, se dá principalmente em relação a variabilidade genética existente na cultura do pinhão manso (Acthen et al., 2010; Laviola et al., 2010).



**Tabela 22.** Média dos teores de nutrientes e Al no caule de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N Caule (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	18,39	21,75	20,32	18,19	12,43	18,22 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	23,41	24,21	22,70	18,58	6,56	19,09
	UFRRJ 346	28,06	20,62	21,70	17,47	15,33	20,64
	UFRRJ 858	19,00	25,96	23,28	13,28	11,18	18,54
	Média	22,22a	23,14a	22,00a	16,88b	11,38c	
P Caule (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	2,79	2,82	2,63	1,51	0,50	2,05B
	CNPAE 190	3,43	3,19	2,79	1,05	1,48	2,39B
	UFRRJ 346	4,16	4,02	3,79	2,36	3,36	3,54A
	UFRRJ 858	2,63	3,23	4,21	3,00	2,53	3,12A
	Média	3,25a	3,32a	3,36a	1,98b	1,97b	
K Caule (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	44,52	48,04	45,17	26,42	10,64	34,96 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	50,54	45,70	42,19	23,83	17,78	36,01
	UFRRJ 346	49,28	52,66	41,74	30,81	23,00	39,50
	UFRRJ 858	40,08	37,56	47,17	36,93	21,41	36,63
	Média	46,10a	45,99a	44,07a	29,50b	18,21b	
Ca Caule (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	4,29Ac	5,12Aa	4,59Ab	3,64Ad	1,19De	-
	CNPAE 190	4,40Aa	4,18Bb	4,06Ac	1,67Ce	2,59Cd	-
	UFRRJ 346	4,05Ab	3,91Bc	4,15Aa	3,16Be	3,48Ad	-
	UFRRJ 858	3,05Ad	3,35Bc	4,26Aa	3,75Ab	2,86Be	-
	Média						
Mg Caule (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	15,16Ac	17,68Aa	16,35Ab	13,96Ad	6,02Ce	-
	CNPAE 190	15,63Ab	16,08Aa	14,94Ac	7,31Ce	10,33Bd	-
	UFRRJ 346	14,18Ac	15,08Ba	14,92Ab	12,06Be	12,47Ad	-
	UFRRJ 858	10,98Bd	13,48Bc	15,48Aa	13,86Ab	10,12Be	-
	Média						
Cu Caule (mg kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	6,90	18,60	3,33	3,34	18,82	10,20A
	CNPAE 190	6,16	2,61	2,62	0,00	2,04	2,68B
	UFRRJ 346	5,20	5,60	4,08	2,50	4,82	4,44B
	UFRRJ 858	7,09	2,31	4,72	4,35	6,04	4,90B
	Média <sup>ns</sup>	6,34	7,28	3,69	2,55	7,93	
Mn Caule (mg kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	111,82	136,57	138,69	154,13	37,63	115,77 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	123,72	141,47	150,52	78,21	77,48	114,28
	UFRRJ 346	123,02	144,03	153,47	112,18	140,49	134,64
	UFRRJ 858	125,69	142,40	178,66	152,38	98,77	139,58
	Média	121,06a	141,12a	155,34a	124,23a	88,59b	
Fe Caule <sup>ns</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	133,56	136,77	133,47	118,76	116,91	127,89
	CNPAE 190	129,55	123,12	169,33	117,67	101,35	128,20
	UFRRJ 346	116,00	121,90	114,88	108,52	112,75	114,81
	UFRRJ 858	126,81	127,26	125,57	110,98	118,80	121,88
	Média	126,48	127,26	135,81	113,98	112,45	
Zn Caule (mg kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	54,68	60,03	61,23	45,41	27,15	49,70 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	66,31	50,09	50,51	24,58	33,65	45,03
	UFRRJ 346	57,77	60,52	46,09	44,57	44,65	50,72
	UFRRJ 858	42,83	52,64	51,88	41,67	34,29	44,66
	Média	55,40a	55,82a	52,43a	39,06b	34,94b	
Al Caule <sup>ns</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,018	0,020	0,018	0,022	0,021	0,020
	CNPAE 190	0,022	0,024	0,023	0,035	0,030	0,027
	UFRRJ 346	0,008	0,009	0,011	0,013	0,016	0,011
	UFRRJ 858	0,017	0,020	0,020	0,028	0,032	0,024
	Média	0,016	0,018	0,018	0,025	0,025	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

Os teores de Mn e o Zn apresentaram diferença apenas entre doses, onde o incremento das doses reduziram os teores desses micronutrientes. O teor de Fe não apresentou diferença

significativa, assim com o  $Al^{3+}$  (Tabela 22). Santos Neto (2011) encontrou teores de Mn e Zn próximos aos relatados no presente trabalho.

Para os teores de nutrientes na raiz, houve interação para o teor de N quanto as doses de Al na solução nutritiva e acessos de pinhão manso e, efeito significativo nos teores de Cu, Fe e Al para doses de Al e acessos de pinhão manso. Para os demais nutrientes, P, K, Ca, Mg, Mn e Zn, não houve diferença significativa (Tabela 23).

Em relação ao N na raiz, houve uma grande variação em quanto as doses de Al na solução nutritiva e entre acessos. Apenas o acesso UFRRJ-858 não apresentou o menor teor de N na dose de  $100\mu mol L^{-1}$  de Al na solução nutritiva, nesse acesso, o menor teor foi observado na dose de  $25\mu mol L^{-1}$ , com o valor de  $25,7 g kg^{-1}$  (Tabela 23).

De acordo com Tanure (2009), o pinhão manso apresenta uma elevada exigência em nutrientes, demonstrando a grande habilidade de absorção do N presente no solo. por ser uma planta perene com alta taxa de crescimento vegetativo. Laviola et al., (2008), afirmam que o N é o nutriente requerido em maior quantidade para formação das folhas, bem como para suprir as demandas metabólicas dos frutos de pinhão manso.

Essa variação pode está ligada à variabilidade genética dos acessos, uma vez que, ainda não existe cultivar definido para a cultura do pinhão manso. Os resultados encontrados na literatura sobre a nutrição mineral do pinhão manso, demonstram que é uma cultura exigente em boas condições químicas e físicas do solo, porém, ainda é preciso elucidar melhor as respostas de crescimento e produção, pois, apesar de direcionar de forma mais ampla sobre essa exigência, os trabalhos publicados ainda divergem muito quanto aos valores absolutos obtidos e essa divergência pode ser justificada pela variabilidade presente dentro das plantas de pinhão manso (Laviola et al., 2010; Singh et al., 2013)

Para o teor de Cu na raiz, o acesso CNPAE-190 foi superior aos demais, com o teor de  $70,6 mg kg^{-1}$ . Para o teor de Fe, o acesso CNPAE-170 apresentou o menor teor, com  $1126,4 mg kg^{-1}$ , em relação as doses de Al na solução nutritiva, na dose 0 foi observado o menor teor desse micronutriente, com o valor de  $1121,7 mg kg^{-1}$  (Tabela 23).

Os teores de  $Al^{3+}$  nas raízes tiveram um aumento com o incremento nas doses de Al na solução nutritiva, porém, só a dose de  $100\mu mol L^{-1}$  diferiu estatisticamente das demais doses. Não houve diferença entre acesso de pinhão manso. Lana et al. (2013) encontraram resposta linear nos teores de Al em pinhão manso com aplicação de até  $1000\mu mol L^{-1}$  de Al na solução nutritiva.

**Tabela 23.** Média dos teores de nutrientes e Al na raiz de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N Raiz ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	40,30Bb	41,39Aa	37,96Ac	33,75Bb	18,61Ce	-
	CNPAE 190	31,12Bd	42,53Aa	40,24Ab	37,18Ac	28,00Be	-
	UFRRJ 346	39,77Bb	36,02Ad	40,50Aa	37,61Ac	30,45Be	-
	UFRRJ 858	60,32Aa	31,96Ac	25,76Be	28,19Cd	32,50Ab	-
P Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	4,06	3,72	5,96	5,43	4,74	4,78
	CNPAE 190	6,81	5,13	5,87	4,67	5,48	5,59
	UFRRJ 346	4,91	5,91	5,56	5,44	5,65	5,49
	UFRRJ 858	3,71	6,59	7,55	6,20	5,66	5,94
	Média	4,87	5,34	6,24	5,44	5,38	
K Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	54,37	50,42	75,34	59,27	40,79	56,04
	CNPAE 190	81,61	54,90	64,28	50,50	54,18	61,09
	UFRRJ 346	65,00	55,53	51,62	64,02	36,86	54,61
	UFRRJ 858	51,18	58,13	67,33	60,91	38,50	55,21
	Média	63,04	54,75	64,64	58,68	42,58	
Ca Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	6,88	6,53	8,84	6,37	4,96	6,72
	CNPAE 190	9,03	5,65	6,62	5,04	5,40	6,35
	UFRRJ 346	6,55	6,11	5,99	6,71	4,14	5,90
	UFRRJ 858	6,29	4,98	6,22	4,77	3,69	5,19
	Média	7,19	5,82	6,91	5,72	4,55	
Mg Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	8,31	6,78	6,54	5,52	5,81	6,59
	CNPAE 190	7,85	5,86	5,84	5,51	5,36	6,09
	UFRRJ 346	5,87	5,65	5,72	6,12	5,25	5,72
	UFRRJ 858	5,39	5,15	6,49	5,02	4,89	5,39
	Média	6,86	5,86	6,15	5,54	5,33	
Cu Raiz ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	45,13	35,00	66,24	68,91	60,34	55,12B
	CNPAE 190	89,44	64,13	69,95	58,25	71,27	70,61A
	UFRRJ 346	66,78	55,53	61,69	60,50	68,35	62,57B
	UFRRJ 858	59,51	54,38	68,03	54,75	58,12	58,96B
	Média <sup>ns</sup>	65,22	52,26	66,48	60,60	64,52	
Mn Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	330,85	201,35	386,49	268,43	235,71	284,56
	CNPAE 190	437,99	221,38	270,58	191,81	278,74	280,10
	UFRRJ 346	405,66	306,77	357,44	388,90	205,34	332,82
	UFRRJ 858	424,33	318,27	490,55	254,82	196,41	336,88
	Média	399,71	261,94	376,27	275,99	229,05	
Fe Raiz ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	543,38	887,92	1298,98	1324,48	1577,53	1126,46B
	CNPAE 190	1432,25	1365,80	1604,42	1711,94	1804,14	1583,71A
	UFRRJ 346	1555,62	1542,85	1219,42	1276,31	1751,48	1469,14A
	UFRRJ 858	955,85	2009,42	1760,59	1732,05	2066,05	1704,79A
	Média	1121,78b	1451,49a	1470,85a	1511,20a	1799,80a	
Zn Raiz <sup>ns</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	242,23	214,22	338,70	302,01	145,80	248,59
	CNPAE 190	376,20	216,43	243,17	213,46	250,46	259,95
	UFRRJ 346	314,89	245,18	272,05	333,47	187,59	270,63
	UFRRJ 858	296,65	241,17	379,42	250,71	182,27	270,04
	Média	307,49	229,25	308,34	274,91	191,53	
Al Raiz ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CNPAE 170	0,109	0,111	0,154	0,254	0,318	0,189 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	0,202	0,295	0,180	0,228	0,292	0,240
	UFRRJ 346	0,159	0,261	0,158	0,160	0,389	0,225
	UFRRJ 858	0,136	0,263	0,171	0,193	0,273	0,207
	Média	0,151b	0,233b	0,166b	0,209b	0,318a	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

Nas Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28 são apresentados os valores dos nutrientes acumulados na folha, pecíolo, caule, raiz e plantas de diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

**Tabela 24.** Média dos valores de nutrientes acumulados na folha dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N (g folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,116	0,120	0,105	0,069	0,040	0,090A
	CNPAE 190	0,092	0,097	0,084	0,069	0,036	0,076B
	UFRRJ 346	0,082	0,084	0,044	0,050	0,035	0,059C
	UFRRJ 858	0,061	0,055	0,052	0,033	0,019	0,044D
	Média	0,088a	0,089a	0,071b	0,055c	0,033d	
P (g folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,019	0,018	0,015	0,008	0,008	0,014A
	CNPAE 190	0,017	0,016	0,013	0,009	0,005	0,012A
	UFRRJ 346	0,015	0,015	0,010	0,007	0,005	0,010B
	UFRRJ 858	0,011	0,012	0,011	0,007	0,005	0,009B
	Média	0,016a	0,015a	0,012b	0,008c	0,006d	
K (g folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,138	0,129	0,114	0,063	0,030	0,095A
	CNPAE 190	0,105	0,088	0,074	0,059	0,018	0,069B
	UFRRJ 346	0,093	0,082	0,056	0,041	0,024	0,059B
	UFRRJ 858	0,069	0,054	0,054	0,030	0,013	0,044C
	Média	0,101a	0,088a	0,074b	0,048c	0,021d	
Ca (g folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,079Aa	0,073Ab	0,069Ac	0,030Ad	0,017Ae	-
	CNPAE 190	0,059Ba	0,058Bb	0,048Bc	0,029Ad	0,018Ae	-
	UFRRJ 346	0,044Ca	0,043Cb	0,033Cc	0,026Bd	0,016Be	-
	UFRRJ 858	0,033Ca	0,033Db	0,029Cc	0,018Cd	0,010Ce	-
	Média	0,030Aa	0,027Ab	0,026Ab	0,014Ac	0,007Ad	-
Mg (g folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,023Ba	0,022Bb	0,019Bc	0,012Bd	0,008Ae	-
	CNPAE 190	0,017Ca	0,016Cb	0,013Cc	0,011Bd	0,008Be	-
	UFRRJ 346	0,013Ca	0,012Db	0,011Cc	0,007Cd	0,005Ce	-
	UFRRJ 858	0,016	0,014	0,014	0,007	0,006	0,011B
	Média	0,021	0,018	0,015	0,011	0,004	0,014A
Cu (mg folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,015	0,014	0,011	0,007	0,007	0,011B
	CNPAE 190	0,011	0,009	0,008	0,005	0,004	0,007C
	UFRRJ 346	0,016a	0,014a	0,012b	0,007c	0,005c	
	UFRRJ 858	0,800	0,763	0,740	0,290	0,107	0,540A
	Média	0,638	0,578	0,504	0,236	0,072	0,406B
Mn (mg folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,649	0,666	0,408	0,243	0,110	0,415B
	CNPAE 190	0,548	0,445	0,398	0,142	0,046	0,316C
	UFRRJ 346	0,894	0,862	0,959	0,481	0,310	0,701A
	UFRRJ 858	1,092	0,887	0,775	0,421	0,322	0,699A
	Média	0,753	0,739	0,492	0,338	0,281	0,521B
Fe (mg folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,560	0,458	0,461	0,204	0,195	0,376C
	CNPAE 190	0,825a	0,736b	0,672b	0,361c	0,277c	
	UFRRJ 346	0,188Aa	0,189Aa	0,168Ab	0,085Ac	0,045Ad	-
	UFRRJ 858	0,160Bb	0,144Ba	0,122Bc	0,067Bd	0,037Be	-
	Média	0,104Cb	0,101Ca	0,078Cc	0,049Cd	0,036Be	-
Zn (mg folha <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,081Cb	0,065Da	0,062Dc	0,038Dd	0,021Ce	-
	CNPAE 190	0,188Aa	0,189Aa	0,168Ab	0,085Ac	0,045Ad	-
	UFRRJ 346	0,160Bb	0,144Ba	0,122Bc	0,067Bd	0,037Be	-
	UFRRJ 858	0,104Cb	0,101Ca	0,078Cc	0,049Cd	0,036Be	-
	Média	0,081Cb	0,065Da	0,062Dc	0,038Dd	0,021Ce	-

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 25.** Média dos valores de nutrientes acumulados no pecíolo dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N (g pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,012	0,012	0,010	0,00	0,006	0,010A
	CNPAE 190	0,014	0,013	0,010	0,011	0,004	0,010A
	UFRRJ 346	0,009	0,010	0,009	0,007	0,008	0,008B
	UFRRJ 858	0,007	0,008	0,010	0,010	0,006	0,008B
	Média	0,010a	0,011a	0,010b	0,009b	0,006c	
P (g pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001B
	CNPAE 190	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002A
	UFRRJ 346	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002A
	UFRRJ 858	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001B
	Média	0,002a	0,002a	0,002b	0,001b	0,001b	
K (g pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,065	0,063	0,047	0,026	0,006	0,041A
	CNPAE 190	0,067	0,060	0,046	0,032	0,004	0,042A
	UFRRJ 346	0,050	0,063	0,041	0,021	0,013	0,038A
	UFRRJ 858	0,047	0,042	0,043	0,027	0,005	0,033B
	Média	0,057a	0,057a	0,044b	0,027c	0,007d	
Ca (g pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,010	0,008	0,006	0,006	0,005	0,007A
	CNPAE 190	0,008	0,008	0,006	0,004	0,003	0,006A
	UFRRJ 346	0,004	0,005	0,005	0,004	0,003	0,004B
	UFRRJ 858	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004B
	Média <sup>ns</sup>	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	
Mg (g pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,014	0,024	0,012	0,009	0,008	0,013A
	CNPAE 190	0,011	0,010	0,009	0,009	0,006	0,009B
	UFRRJ 346	0,006	0,008	0,005	0,005	0,005	0,006B
	UFRRJ 858	0,006	0,006	0,010	0,008	0,006	0,007B
	Média <sup>ns</sup>	0,009	0,012	0,009	0,008	0,006	
Cu <sup>ns</sup> (mg pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
	CNPAE 190	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002
	UFRRJ 346	0,002	0,002	0,002	0,001	0,006	0,003
	UFRRJ 858	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002
	Média	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
Mn (mg pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,091	0,082	0,072	0,061	0,024	0,066 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	0,093	0,090	0,080	0,063	0,018	0,069
	UFRRJ 346	0,074	0,100	0,080	0,048	0,049	0,070
	UFRRJ 858	0,066	0,085	0,090	0,065	0,023	0,066
	Média	0,081a	0,089a	0,080a	0,059b	0,028c	
Fe <sup>ns</sup> (mg pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,108	0,112	0,091	0,084	0,080	0,095
	CNPAE 190	0,112	0,103	0,115	0,078	0,075	0,096
	UFRRJ 346	0,083	0,137	0,111	0,106	0,092	0,106
	UFRRJ 858	0,088	0,100	0,126	0,091	0,099	0,101
	Média	0,098	0,113	0,111	0,090	0,086	
Zn (mg pecíolo <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,043Ab	0,046Aa	0,034Ac	0,028Ad	0,019Ae	-
	CNPAE 190	0,040Ab	0,038Ba	0,032Ac	0,025Ad	0,010Be	-
	UFRRJ 346	0,028Bb	0,032Ca	0,022Bc	0,016Cd	0,019Ae	-
	UFRRJ 858	0,021Bb	0,025Da	0,032Ac	0,024Bd	0,019Ae	-
	Média						

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

**Tabela 26.** Média dos valores de nutrientes acumulados no caule dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N (g caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,035	0,036	0,027	0,036	0,022	0,031A
	CNPAE 190	0,040	0,037	0,037	0,041	0,016	0,034A
	UFRRJ 346	0,042	0,028	0,025	0,029	0,024	0,030A
	UFRRJ 858	0,024	0,025	0,020	0,012	0,014	0,019B
	Média	0,035a	0,031a	0,027a	0,030a	0,019b	
P <sup>ns</sup> (g caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,005	0,005	0,004	0,003	0,001	0,003
	CNPAE 190	0,006	0,005	0,004	0,002	0,003	0,004
	UFRRJ 346	0,006	0,005	0,004	0,004	0,006	0,005
	UFRRJ 858	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003
	Média	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	
K (g caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,079	0,078	0,060	0,053	0,019	0,058 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	0,086	0,071	0,068	0,054	0,039	0,064
	UFRRJ 346	0,072	0,071	0,048	0,053	0,047	0,058
	UFRRJ 858	0,060	0,032	0,041	0,037	0,025	0,039
	Média	0,074a	0,063a	0,054b	0,049b	0,033b	
Ca (g caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,008	0,008	0,006	0,007	0,002	0,006A
	CNPAE 190	0,007	0,006	0,006	0,004	0,006	0,006A
	UFRRJ 346	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006A
	UFRRJ 858	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004B
	Média <sup>ns</sup>	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	
Mg (g caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,028	0,028	0,022	0,027	0,012	0,024A
	CNPAE 190	0,027	0,025	0,024	0,016	0,024	0,023A
	UFRRJ 346	0,020	0,020	0,017	0,021	0,021	0,020A
	UFRRJ 858	0,015	0,012	0,014	0,014	0,013	0,013B
	Média <sup>ns</sup>	0,022	0,021	0,019	0,019	0,018	
Cu (mg caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,012	0,031	0,005	0,007	0,032	0,017A
	CNPAE 190	0,011	0,004	0,004	0,000	0,005	0,005B
	UFRRJ 346	0,008	0,008	0,005	0,005	0,009	0,007B
	UFRRJ 858	0,010	0,002	0,004	0,005	0,009	0,006B
	Média <sup>ns</sup>	0,010	0,011	0,004	0,004	0,014	
Mn <sup>ns</sup> (mg caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,201	0,221	0,180	0,303	0,076	0,196
	CNPAE 190	0,210	0,214	0,246	0,174	0,176	0,204
	UFRRJ 346	0,180	0,193	0,170	0,187	0,251	0,196
	UFRRJ 858	0,149	0,119	0,156	0,154	0,118	0,139
	Média	0,185	0,187	0,188	0,205	0,155	
Fe (mg caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,237	0,220	0,181	0,235	0,227	0,220A
	CNPAE 190	0,220	0,191	0,263	0,255	0,239	0,234A
	UFRRJ 346	0,170	0,166	0,130	0,186	0,191	0,169B
	UFRRJ 858	0,183	0,122	0,109	0,113	0,154	0,136B
	Média <sup>ns</sup>	0,203	0,175	0,171	0,197	0,203	
Zn (mg caule <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,099	0,098	0,082	0,091	0,051	0,084A
	CNPAE 190	0,112	0,076	0,080	0,055	0,076	0,080A
	UFRRJ 346	0,085	0,083	0,053	0,078	0,075	0,075A
	UFRRJ 858	0,059	0,049	0,045	0,042	0,042	0,048B
	Média <sup>ns</sup>	0,089	0,077	0,065	0,066	0,061	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

**Tabela 27.** Média dos valores de nutrientes acumulados na raiz dos acessos de pinhão manso submetidos a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N (g raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,052	0,060	0,042	0,033	0,011	0,040A
	CNPAE 190	0,034	0,043	0,044	0,033	0,019	0,035A
	UFRRJ 346	0,034	0,034	0,033	0,025	0,017	0,029B
	UFRRJ 858	0,036	0,027	0,016	0,017	0,014	0,022B
	Média	0,039a	0,041a	0,034a	0,027b	0,015c	
P (g raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,005	0,006	0,007	0,005	0,003	0,005A
	CNPAE 190	0,008	0,005	0,007	0,004	0,003	0,005A
	UFRRJ 346	0,004	0,006	0,004	0,004	0,003	0,004B
	UFRRJ 858	0,002	0,005	0,005	0,004	0,002	0,004B
	Média	0,005a	0,005a	0,006a	0,004b	0,003b	
K (g raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,067	0,077	0,085	0,059	0,023	0,062
	CNPAE 190	0,098	0,053	0,071	0,043	0,031	0,059
	UFRRJ 346	0,057	0,053	0,040	0,044	0,021	0,043
	UFRRJ 858	0,031	0,042	0,043	0,034	0,016	0,033
	Média	0,064a	0,056a	0,060a	0,045 <sup>a</sup>	0,023b	
Ca (g raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,009	0,010	0,010	0,006	0,003	0,008A
	CNPAE 190	0,011	0,005	0,007	0,004	0,003	0,006A
	UFRRJ 346	0,006	0,006	0,005	0,005	0,002	0,005B
	UFRRJ 858	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003B
	Média	0,007a	0,006a	0,007a	0,004b	0,002b	
Mg (g raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,011	0,010	0,007	0,005	0,003	0,007A
	CNPAE 190	0,009	0,006	0,006	0,005	0,003	0,006B
	UFRRJ 346	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,004C
	UFRRJ 858	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003C
	Média	0,007a	0,006a	0,006a	0,004b	0,003b	
Cu (mg raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,057	0,053	0,080	0,067	0,035	0,059A
	CNPAE 190	0,108	0,064	0,078	0,052	0,043	0,069A
	UFRRJ 346	0,058	0,052	0,050	0,042	0,040	0,049B
	UFRRJ 858	0,036	0,041	0,042	0,032	0,025	0,035B
	Média	0,065a	0,053b	0,063a	0,048b	0,036b	
Mn (mg raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,438	0,306	0,432	0,268	0,133	0,315 <sup>ns</sup>
	CNPAE 190	0,532	0,212	0,295	0,163	0,158	0,272
	UFRRJ 346	0,360	0,290	0,302	0,289	0,108	0,270
	UFRRJ 858	0,266	0,241	0,300	0,140	0,084	0,206
	Média	0,399a	0,262b	0,332a	0,215b	0,121b	
Fe (mg raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,641	1,363	1,578	1,293	0,902	1,155B
	CNPAE 190	1,713	1,387	1,797	1,597	1,107	1,520A
	UFRRJ 346	1,335	1,465	0,975	0,869	1,006	1,130B
	UFRRJ 858	0,571	1,613	1,179	1,080	0,906	1,070B
	Média <sup>ns</sup>	1,065	1,457	1,382	1,210	0,980	
Zn (mg raiz <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,306	0,325	0,408	0,304	0,084	0,285A
	CNPAE 190	0,457	0,205	0,267	0,178	0,140	0,250A
	UFRRJ 346	0,277	0,227	0,227	0,243	0,104	0,216A
	UFRRJ 858	0,187	0,177	0,235	0,136	0,079	0,163B
	Média	0,307a	0,234a	0,284a	0,215 <sup>a</sup>	0,102b	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo

**Tabela 28.** Média dos nutrientes acumulados em diferentes acessos de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Variável	Acesso	Doses de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )					Média
		0	12,5	25	50	100	
N (g planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,215	0,228	0,184	0,147	0,079	0,171A
	CNPAE 190	0,179	0,189	0,174	0,154	0,075	0,154A
	UFRRJ 346	0,167	0,156	0,111	0,111	0,084	0,126B
	UFRRJ 858	0,128	0,115	0,099	0,073	0,054	0,094C
	Média	0,172a	0,172a	0,142b	0,121c	0,073d	
P (g planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,031	0,030	0,027	0,017	0,012	0,024A
	CNPAE 190	0,034	0,028	0,026	0,017	0,012	0,023A
	UFRRJ 346	0,028	0,028	0,020	0,016	0,016	0,022A
	UFRRJ 858	0,018	0,021	0,022	0,015	0,011	0,017B
	Média	0,028a	0,027a	0,024b	0,016c	0,013d	
K (g planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,349Aa	0,346Aa	0,307Ab	0,201Ac	0,078Ad	-
	CNPAE 190	0,357Aa	0,272Bb	0,259Bc	0,187Bd	0,092Be	-
	UFRRJ 346	0,272Ba	0,268Bb	0,185Cc	0,159Cd	0,105Ce	-
	UFRRJ 858	0,208Ba	0,170Cb	0,181Cc	0,129Dd	0,060De	-
	Média	0,282a	0,252a	0,212b	0,142c	0,082d	
Ca (g planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,106Aa	0,099Ab	0,091Ac	0,049Ad	0,027Ae	-
	CNPAE 190	0,086Ba	0,078Bb	0,068Bc	0,041Bd	0,031Be	-
	UFRRJ 346	0,060Ca	0,059Cb	0,048Cc	0,041Bd	0,028Be	-
	UFRRJ 858	0,044Ca	0,043Db	0,041Dc	0,028Cd	0,018Ce	-
	Média	0,072a	0,068a	0,058b	0,041c	0,025d	
Mg (g planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,083Aa	0,089Ab	0,068Ac	0,056Ad	0,031Ae	-
	CNPAE 190	0,070Aa	0,063Bb	0,058Bc	0,042Bd	0,041Be	-
	UFRRJ 346	0,049Ba	0,050Cb	0,040Cc	0,041Bd	0,038Ce	-
	UFRRJ 858	0,037Ba	0,034Db	0,038Cc	0,032Cd	0,026De	-
	Média	0,062a	0,062a	0,050b	0,041c	0,032d	
Cu (mg planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,086	0,101	0,101	0,082	0,075	0,089A
	CNPAE 190	0,143	0,089	0,098	0,065	0,053	0,090A
	UFRRJ 346	0,083	0,076	0,067	0,055	0,062	0,069B
	UFRRJ 858	0,060	0,054	0,057	0,043	0,038	0,050C
	Média	0,093a	0,080a	0,08a1	0,061b	0,057b	
Mn (mg planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	1,529	1,371	1,424	0,922	0,340	1,117A
	CNPAE 190	1,473	1,095	1,124	0,636	0,424	0,950B
	UFRRJ 346	1,262	1,249	0,959	0,766	0,518	0,951B
	UFRRJ 858	1,028	0,889	0,943	0,501	0,271	0,727C
	Média	1,323a	1,151b	1,112b	0,706c	0,388d	
Fe (mg planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	1,880	2,557	2,809	2,093	1,519	2,171A
	CNPAE 190	3,137	2,568	2,950	2,351	1,742	2,549A
	UFRRJ 346	2,342	2,506	1,709	1,499	1,570	1,925B
	UFRRJ 858	1,402	2,292	1,875	1,489	1,354	1,682B
	Média	2,190a	2,481a	2,336a	1,858b	1,546b	
Zn (mg planta <sup>-1</sup> )	CNPAE 170	0,635	0,658	0,692	0,508	0,199	0,539A
	CNPAE 190	0,769	0,464	0,502	0,325	0,264	0,465A
	UFRRJ 346	0,493	0,443	0,380	0,386	0,234	0,387B
	UFRRJ 858	0,347	0,316	0,373	0,241	0,161	0,288B
	Média	0,561a	0,471a	0,487a	0,365b	0,214c	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

O acúmulo de nutrientes nas plantas está diretamente ligado a massa seca de cada órgão da planta avaliado com os teores dos respectivos nutrientes. Observa-se que em função do incremento das doses de Al na solução nutritiva, houve redução nos acúmulo dos macro e micronutrientes quando se compara a dose  $0\mu\text{mol L}^{-1}$  com a dose  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução nutritiva. Quanto aos acessos de pinhão manso, observa-se que não há um comportamento regular de um ou outro acesso dentro de cada dose de Al e entre os próprios acessos. Como discutido anteriormente, pode-se inferir que a variabilidade genética da cultura é responsável por esse comportamento.



Ao testar equações de regressão observa-se o mesmo comportamento dos testes de médias, onde as doses crescentes de Al reduz os teores e acúmulos de nutrientes, observa-se ainda que cada acesso apresentou variação quanto aos nutrientes que ajustaram nas equações de regressão.

Nas Tabela 29, Tabela 30, Tabela 31 e Tabela 32 são apresentadas os ajustes de regressão do acesso CNPAE-170 para os teores e acúmulos de macro e micronutrientes em função das doses crescentes de Al na solução nutritiva.

**Tabela 29.** Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$Y = 40,4192 - 0,15874***Dose$	0,7569
P Folha	$\hat{Y} = 5,20$	-
K Folha	$Y = 46,0201 - 0,2845***Dose$	0,8070
Ca Folha	$Y = 26,270 - 0,17045***Dose$	0,7598
Mg Folha	$Y = 9,8508 - 0,05439***Dose$	0,7814
N Pecíolo	$\hat{Y} = 18,82$	-
P Pecíolo	$Y = 3,6686 - 0,03123***Dose$	0,7163
K Pecíolo	$Y = 116,289 - 1,0205***Dose$	0,8229
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 13,81$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 25,72$	-
N Caule	$\hat{Y} = 18,22$	-
P Caule	$Y = 2,9972 - 0,02529***Dose$	0,6939
K Caule	$Y = 49,5957 - 0,39032***Dose$	0,7285
Ca Caule	$Y = 5,1245 - 0,03627***Dose$	0,7081
Mg Caule	$Y = 17,8191 - 0,1063***Dose$	0,6535
N Raiz	$Y = 43,0141 - 0,22964***Dose$	0,7715
P Raiz	$\hat{Y} = 4,78$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 56,04$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 6,72$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 6,59$	-

\*\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T.

**Tabela 30.** Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (mg g <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$\hat{Y} = 4,476$	-
Mn Folha	$Y = 282,923 - 2,2469***Dose$	0,7295
Fe Folha	$\hat{Y} = 272,217$	-
Zn Folha	$Y = 65,9874 - 0,4012***Dose$	0,7483
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 4,144$	-
Mn Pecíolo	$\hat{Y} = 129,467$	-
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 192,644$	-
Zn Pecíolo	$\hat{Y} = 67,250$	-
Cu Caule	$\hat{Y} = 10,198$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 115,770$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 127,894$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 49,702$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 55,125$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 284,565$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1126,458$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 248,591$	-

\*\*\*, \*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 31.** Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$Y = 0,12184 - 0,0008476^{***}Dose$	0,7499
P Folha	$Y = 0,02034 - 0,000309^{***}Dose + 0,00000183^{**}Dose^2$	0,7499
K Folha	$Y = 0,13767 - 0,001140^{***}Dose$	0,7728
Ca Folha	$Y = 0,078914 - 0,0006761^{***}Dose$	0,7281
Mg Folha	$Y = 0,02971 - 0,0002363^{***}Dose$	0,7093
N Pecíolo	$Y = 0,01207 - 0,00006732^{***}Dose$	0,6178
P Pecíolo	$Y = 0,002083 - 0,00002011^{***}Dose$	0,7281
K Pecíolo	$Y = 0,064931 - 0,0006253^{***}Dose$	0,8232
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0069$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0135$	-
N Caule	$\hat{Y} = 0,0312$	-
P Caule	$Y = 0,0048891 - 0,00003897^{***}Dose$	0,6111
K Caule	$Y = 0,080672 - 0,0006125^{***}Dose$	0,7589
Ca Caule	$\hat{Y} = 0,0064$	-
Mg Caule	$\hat{Y} = 0,0236$	-
N Raiz	$Y = 0,05703 - 0,000461^{***}Dose$	0,7568
P Raiz	$\hat{Y} = 0,0051$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 0,0623$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 0,0075$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 0,0074$	-
N Planta	$Y = 0,22642 - 0,0014906^{***}Dose$	0,7630
P Planta	$Y = 0,031288 - 0,00020713^{***}Dose$	0,6241
K Planta	$Y = 0,3656 - 0,0029113^{***}Dose$	0,7852
Ca Planta	$Y = 0,10606 - 0,0008444^{***}Dose$	0,7582
Mg Planta	$Y = 0,08659 - 0,00056696^{***}Dose$	0,6427

\*\*\*,\*\* significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 32.** Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso CNPAE-170 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (mg)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$Y = 0,015295 - 0,00010641^{***}Dose$	0,6496
Mn Folha	$Y = 0,827832 - 0,00768222^{***}Dose$	0,8178
Fe Folha	$Y = 0,9512 - 0,006672^{***}Dose$	0,6655
Zn Folha	$Y = 0,19518 - 0,001601^{***}Dose$	0,8482
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 0,002$	-
Mn Pecíolo	$Y = 0,090641 - 0,0006579^{***}Dose$	0,6878
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0949$	-
Zn Pecíolo	$Y = 0,043695 - 0,0002585^{***}Dose$	0,5840
Cu Caule	$\hat{Y} = 0,0172$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 0,1961$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 0,2202$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 0,0842$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 0,0585$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 0,3153$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1,1554$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 0,2852$	-
Cu Planta	$\hat{Y} = 0,089$	-
Mn Planta	$Y = 1,5773 - 0,01227^{***}Dose$	0,7592
Fe Planta	$\hat{Y} = 2,171$	-
Zn Planta	$\hat{Y} = 0,54$	-

\*\*\*,\*\* significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

Ao se analisar os teores dos nutrientes N, K, Ca e Mg das folhas do acesso CNPAE-170, constatou-se que houve um ajuste de regressão, sendo todos com equação linear descendente, onde o acréscimo das doses de Al reduziram os teores desses nutrientes, sendo que a aplicação de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução promoveu reduções de 39% para N, 63% para K, 63% para Ca e 55% para Mg quando se compara a dose  $0\mu\text{mol L}^{-1}$ . No pecíolo, os ajustes de regressão ocorreram para os teores de P e K, também com equação linear descendente, com reduções de 85% para P e 88% para K com  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução. No caule, houve ajustes para os teores de P, K, Ca e Mg. Assim como as folhas e pecíolo, os ajustes foram todos lineares descendentes, sendo as reduções de 85% para P, 79% para K, 71% para Ca e 60% para Mg. Para a raiz, houve ajustes somente para o teor de N, com equação linear descendente, com redução de 53% (Tabela 29). Quanto aos micronutrientes, houve ajuste de regressão apenas para os teores de Mn e Zn nas folhas, onde o incremento de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução reduziu os teores desses micronutrientes em 79% para Mn e 60% para Zn (Tabela 30).

Em relação ao acúmulo de nutrientes no acesso CNPAE-170, houve ajustes de regressão na folha para todos os macro e micronutrientes analisados, onde, com exceção do P que teve um ajuste quadrático, os demais tiveram ajustes de equações lineares descendentes. A aplicação da maior dose de Al na solução, reduziu os teores de N em 69%, P em 61%, K em 82%, Ca em 85%, Mg em 79%, Cu em 69%, Mn em 93%, Fe em 70% e Mn em 82%. Para o acúmulo no pecíolo, houve ajustes para N, P, K, Mn e Zn, onde as equações ajustadas foram lineares descendentes. A redução promovida pelo incremento das doses de Al na solução nutritiva foi de 55% para N, 96% para P, 96% para K, 72% para Mn e 59% para Zn (Tabela 31 e Tabela 32).

O acúmulo de nutrientes no caule do acesso CNPAE-170 apresentou ajustes de regressão apenas para de P e K, da mesma forma que o pecíolo, os ajustes foram lineares descendentes, onde a redução causada pelo aumento das doses de Al foram de 79% para o P e 75% para o K. Na raiz, o acúmulo de nutrientes apresentou ajuste de regressão apenas para N, sendo linear descendente, com redução de 81% (Tabela 31).

O acúmulo total de nutrientes na planta apresentou ajustes de regressão apenas para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e Mn (Tabela 31 e Tabela 32). Novamente todas as equações foram lineares descendentes, com reduções de 66% para N, 66% para P, 80% para K, 80% para Ca, 65% para Mg e 78% para Mn com aplicação de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução nutritiva.

Nas Tabela 33, Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36 são apresentadas os ajustes de regressão do acesso CNPAE-190 para os teores e acúmulos de macro e micronutrientes em função das doses crescentes de Al na solução nutritiva.

Em relação aos teores nas folhas, foram ajustadas equações para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn (Tabela 33 e Tabela 34). O N apresentou equação quadrática com redução de 37%, os demais nutrientes apresentaram equações lineares descendentes, onde o incremento de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  de Al na solução nutritiva promoveu as reduções de 51% para P, 67% para K, 52% para Ca, 44% para Mg, 84% para Mn, 54% para Fe e 65% para Zn.

Os teores de nutrientes no pecíolo também reduziram com o aumento das doses de Al, sendo as reduções observadas para N com 45%, P com 92%, K com 88%, Mn 66% e Zn com 57% (Tabela 33 e Tabela 34).

O caule apresentou ajustes de regressão apenas para N, P e K. O aumento das doses de Al promoveu redução desses nutrientes em 70% para N, 62% para P e 70% para K.

As variáveis observadas na raiz do acesso CNPAE-190 não ajustou equações de regressão para todos os nutrientes avaliados, porém, seus valores médios são apresentados nas Tabela 33 e Tabela 34.

**Tabela 33.** Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$Y = 36,4194 + 0,2230^{***}Dose - 0,003578^{***}Dose^2$	0,7253
P Folha	$Y = 6,9462 - 0,0352^{***}Dose$	0,6490
K Folha	$Y = 41,7671 - 0,28124^{***}Dose$	0,8823
Ca Folha	$Y = 24,5159 - 0,12881^{***}Dose$	0,8082
Mg Folha	$Y = 9,3548 - 0,041002^{***}Dose$	0,8019
N Pecíolo	$Y = 24,1796 - 0,10793^{***}Dose$	0,6026
P Pecíolo	$Y = 4,4488 - 0,04093^{***}Dose$	0,9062
K Pecíolo	$Y = 119,092 - 1,0496^{***}Dose$	0,9276
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 11,20$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 12,86$	-
N Caule	$Y = 25,837 - 0,1799^{***}Dose$	0,8284
P Caule	$Y = 3,7410 - 0,06695^{***}Dose + 0,0004358^{***}Dose^2$	0,5660
K Caule	$Y = 48,9438 - 0,3450^{***}Dose$	0,6977
Ca Caule	$\hat{Y} = 3,38$	0,7081
Mg Caule	$\hat{Y} = 12,86$	-
N Raiz	$\hat{Y} = 35,81$	-
P Raiz	$\hat{Y} = 5,59$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 61,09$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 6,35$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 6,09$	-

\*\*\*, \*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 34.** Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (mg g <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$\hat{Y} = 6,339$	-
Mn Folha	$Y = 265,424 - 2,2226^{***}Dose$	0,8244
Fe Folha	$\hat{Y} = 398,825 - 2,14298^{***}Dose$	0,5521
Zn Folha	$Y = 64,4032 - 0,41795^{***}Dose$	0,7362
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 4,286$	-
Mn Pecíolo	$\hat{Y} = 178,626 - 1,18671^{***}Dose$	0,6926
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 197,512$	-
Zn Pecíolo	$\hat{Y} = 73,5721 - 0,42069^{***}Dose$	0,6139
Cu Caule	$\hat{Y} = 2,684$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 114,279$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 128,203$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 45,028$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 70,605$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 280,100$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1583,709$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 259,945$	-

\*\*\*, \*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 35.** Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$Y = 0,0984 - 0,00061^{***}Dose$	0,6901
P Folha	$Y = 0,01679 - 0,00012473088^{***}Dose$	0,8092
K Folha	$Y = 0,10013 - 0,0008361^{***}Dose$	0,8756
Ca Folha	$Y = 0,05935 - 0,000445^{***}Dose$	0,8183
Mg Folha	$Y = 0,02283 - 0,0001592^{***}Dose$	0,7760
N Pecíolo	$Y = 0,0131514 - 0,00008861^{***}Dose$	0,8058
P Pecíolo	$Y = 0,002470 - 0,00002472^{***}Dose$	0,8867
K Pecíolo	$Y = 0,06551 - 0,0006281^{***}Dose$	0,9449
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0059$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0087$	-
N Caule	$\hat{Y} = 0,034$	-
P Caule	$\hat{Y} = 0,0041$	0,6111
K Caule	$\hat{Y} = 0,064$	0,7589
Ca Caule	$\hat{Y} = 0,006$	-
Mg Caule	$\hat{Y} = 0,0232$	-
N Raiz	$\hat{Y} = 0,035$	-
P Raiz	$\hat{Y} = 0,0055$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 0,059$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 0,0061$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 0,006$	-
N Planta	$Y = 0,19662 - 0,001124^{***}Dose$	0,7952
P Planta	$Y = 0,031372 - 0,0002166^{***}Dose$	0,7668
K Planta	$Y = 0,32526 - 0,0024472^{***}Dose$	0,8356
Ca Planta	$Y = 0,082194 - 0,0005739^{***}Dose$	0,7212
Mg Planta	$Y = 0,071319 - 0,000771^{***}Dose + 0,00000461^{**}Dose^2$	0,6931

\*\*\*,\*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 36.** Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso CNPAE-190 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$Y = 0,01977 - 0,0001598^{***}Dose$	0,6457
Mn Folha	$Y = 0,62901 - 0,005955^{***}Dose$	0,8948
Fe Folha	$Y = 1,1061 - 0,018006^{***}Dose + 0,000101^{**}Dose^2$	0,6894
Zn Folha	$Y = 0,15394 - 0,0012792^{***}Dose$	0,8846
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0022$	0,6178
Mn Pecíolo	$Y = 0,097822 - 0,00077681^{***}Dose$	0,8699
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0965$	0,8232
Zn Pecíolo	$Y = 0,40565 - 0,00300534^{***}Dose$	0,8605
Cu Caule	$\hat{Y} = 0,0048$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 0,2040$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 0,2337$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 0,0798$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 0,0690$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 0,2721$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1,5201$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 0,2496$	-
Cu Planta	$\hat{Y} = 0,09$	-
Mn Planta	$Y = 1,3239 - 0,009959^{***}Dose$	0,7019
Fe Planta	$\hat{Y} = 2,549$	-
Zn Planta	$\hat{Y} = 0,465$	-

\*\*\*,\*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

Em relação ao acúmulo de nutrientes no acesso CNPAE-190, houve ajustes de regressão na folha para todos os macro e micronutrientes analisados, onde, com exceção do Fe que teve um ajuste quadrático, os demais nutrientes tiveram ajustes de equações lineares descendentes. O aumento das doses de Al na solução, reduziu os teores de N em 62%, P em 74%, K em 83%, Ca em 75%, Mg em 70%, Cu em 81%, Mn em 95%, Fe em 71% e Mn em 83%.

Para o acúmulo no pecíolo, houve ajustes para N, P, K, Mn e Zn, onde as equações ajustadas foram lineares descendentes. A redução promovida pelo incremento das doses de Al na solução nutritiva foi de 39% para N, 100% para P, 96% para K, 79% para Mn e 74% para Zn (Tabela 35 e Tabela 36).

Não houve ajustes de regressão para o acúmulo de nutrientes no caule e raiz do acesso CNAPE-190, seus valores médios são apresentados nas Tabela 35 e Tabela 36.

O acúmulo total de nutrientes na planta do acesso CNAPE-190 apresentou ajustes de regressão para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e Mn (Tabela 35 e Tabela 36). Com exceção do Mg que apresentou equação quadrática, os demais nutrientes tiveram ajustes lineares descendentes. O incremento das doses de Al promoveu reduções de 57% para N, 69% para P, 75% para K, 70% para Ca, 43% para Mg e 75% para Mn.

Nas Tabela 37, Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40 são apresentadas os ajustes de regressão do acesso UFRRJ-346 para os teores e acúmulos de macro e micronutrientes em função das doses crescentes de Al na solução nutritiva.

**Tabela 37.** Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$\hat{Y} = 34,30$	-
P Folha	$Y = 7,454 - 0,03346^{***}Dose$	0,6650
K Folha	$Y = 44,3798 - 0,2658^{***}Dose$	0,8939
Ca Folha	$Y = 22,898 - 0,10099^{***}Dose$	0,6660
Mg Folha	$Y = 8,5566 - 0,021452^{***}Dose$	0,5668
N Pecíolo	$\hat{Y} = 19,88$	-
P Pecíolo	$\hat{Y} = 3,74$	-
K Pecíolo	$Y = 121,655 - 0,94415^{***}Dose$	0,8209
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 9,96$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 14,54$	-
N Caule	$\hat{Y} = 20,64$	-
P Caule	$\hat{Y} = 3,54$	-
K Caule	$\hat{Y} = 39,50$	-
Ca Caule	$\hat{Y} = 3,75$	-
Mg Caule	$\hat{Y} = 13,75$	-
N Raiz	$\hat{Y} = 36,87$	-
P Raiz	$\hat{Y} = 5,49$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 54,61$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 5,90$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 5,72$	-

\*\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T.

**Tabela 38.** Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$\hat{Y} = 6,2027$	-
Mn Folha	$Y = 331,113 - 2,5648^{***}Dose$	0,9295
Fe Folha	$Y = 368,805 - 1,7149^{***}Dose$	0,7838
Zn Folha	$Y = 52,7814 - 0,2592^{***}Dose$	0,7158
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 5,5407$	-
Mn Pecíolo	$\hat{Y} = 165,6532$	-
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 260,11$	-
Zn Pecíolo	$\hat{Y} = 54,5023$	-
Cu Caule	$\hat{Y} = 4,4426$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 134,6378$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 114,8099$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 50,7203$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 62,5701$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 332,8229$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1469,1352$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 270,6349$	-

\*\*\*significativo a 1 de probabilidade pelo teste T.

**Tabela 39.** Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$\hat{Y} = 0,0589$	-
P Folha	$Y = 0,01418 - 0,00009843^{***}Dose$	0,7555
K Folha	$Y = 0,08464 - 0,00067885^{***}Dose$	0,7811
Ca Folha	$Y = 0,04344 - 0,000293^{***}Dose$	0,7169
Mg Folha	$Y = 0,016312 - 0,00008853^{***}Dose$	0,6551
N Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0085$	-
P Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0016$	-
K Pecíolo	$Y = 0,05507 - 0,0004625^{***}Dose$	0,6748
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0043$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0061$	-
N Caule	$\hat{Y} = 0,0295$	-
P Caule	$\hat{Y} = 0,0052$	-
K Caule	$\hat{Y} = 0,0582$	-
Ca Caule	$\hat{Y} = 0,0055$	-
Mg Caule	$\hat{Y} = 0,02$	-
N Raiz	$Y = 0,035621 - 0,0001828^{***}Dose$	0,6263
P Raiz	$\hat{Y} = 0,0043$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 0,043$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 0,0047$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 0,0045$	-
N Planta	$\hat{Y} = 0,0045$	-
P Planta	$Y = 0,029213 - 0,000371^{***}Dose + 0,00000235^{**}Dose^2$	0,6004
K Planta	$Y = 0,2621 - 0,001709^{***}Dose$	0,6290
Ca Planta	$\hat{Y} = 0,0045$	-
M Planta	$\hat{Y} = 0,0045$	-

\*\*\*,\*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 40.** Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso UFRRJ-346 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$\hat{Y} = 0,0107$	0,7499
Mn Folha	$Y = 0,70145 - 0,011708^{***}Dose + 0,00005745^{**}Dose^2$	0,8395
Fe Folha	$Y = 0,79792 - 0,012715^{***}Dose + 0,00007511^{***}Dose^2$	0,8288
Zn Folha	$Y = 0,10092 - 0,00072603^{***}Dose$	0,6799
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0025$	-
Mn Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0701$	-
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 0,1059$	-
Zn Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0233$	-
Cu Caule	$\hat{Y} = 0,0067$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 0,1960$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 0,1687$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 0,0746$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 0,0487$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 0,2698$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1,1301$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 0,2157$	-
Cu Planta	$\hat{Y} = 0,069$	-
Mn Planta	$Y = 1,2425 - 0,007775^{***}Dose$	0,5796
Fe Planta	$\hat{Y} = 2,549$	-
Zn Planta	$\hat{Y} = 0,387$	-

\*\*\*, \*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

A folhas do acesso UFRRJ-346 apresentaram ajustes de regressão para os teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn. Todas as equações ajustadas foram lineares descendentes. O incremento das doses de Al na solução nutritiva promoveu redução nos teores dos nutrientes avaliados em 45% para P, 60% para K, 44% para Ca, 25% para Mg, 77% para Mn, 46% para Fe e 49% para Zn. O pecíolo ajustou equação de regressão apenas para o teor de K, onde o incremento das doses de Al reduziu em 78% na maior dose aplicada comparada a dose 0 (Tabela 37 e Tabela 38). Para os teores das demais variáveis, ou seja, caule e raiz, não houve ajuste de regressão, sendo os valores médios expressos nas Tabela 37 e Tabela 38.

O acúmulo de nutrientes nas folhas do acesso UFRRJ-346 apresentou ajustes de regressão para os nutrientes P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn (Tabela 39 e Tabela 40). Com exceção do Mn e Fe que ajustaram equações quadráticas, os demais nutrientes apresentaram ajustes de equações lineares descendentes. A redução promovida pelo aumento das doses de Al na solução nutritiva em relação ao acúmulo de nutrientes foi de 69% para P, 80% para K, 67% para Ca, 54% para Mg, 85% para Mn, 65% para Fe e 72% para Zn. O pecíolo apresentou ajuste de regressão apenas para o acúmulo de K, apresentando redução com a maior dose de Al aplicada na solução de 88%. O caule e raiz do acesso UFRRJ-346, assim como o acesso CNPAE-190, não apresentaram ajustes de regressão para o acúmulo de nutrientes, tendo seus valores médios apresentados nas Tabela 39 e Tabela 40. A planta do acesso UFRRJ-346 apresentou ajustes de regressão para acúmulo de nutrientes apenas para P, K e Mn, onde a dose de 100  $\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu reduções de 46% para P, 65% para K e 63% para Mn (Tabela 39 e Tabela 40).

Nas Tabela 41, Tabela 42, Tabela 43 e Tabela 44 são apresentados os ajustes de regressão do acesso UFRRJ-858 para os teores e acúmulos de macro e micronutrientes em função das doses crescentes de Al na solução nutritiva.

As folhas do acesso UFRRJ-858 apresentaram ajustes de equação para os teores de N, K, Ca, Mn, Fe e Zn. O Fe teve ajuste de equação quadrática, com redução de 37% na maior dose de Al aplicada na solução nutritiva. Os demais nutrientes apresentaram equações lineares descendentes, onde a maior dose de Al promoveu as reduções de 38% para N, 62% para K,



43% para Ca, 90% para Mn e 47% para Zn (Tabela 41 e Tabela 42). O pecíolo apresentou ajuste de regressão apenas para o K, onde a maior dose de Al aplicada na solução promoveu uma redução de 89% no seu teor (Tabela 41). As variáveis caule e raiz não ajustaram equações de regressão, as médias dos valores dos teores de nutrientes estão apresentadas nas Tabela 41 e Tabela 42.

**Tabela 41.** Ajustes de regressão para teores de macronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente (g kg <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	Y = 40,8541 – 0,15336***Dose	0,6122
P Folha	Ŷ = 7,48	-
K Folha	Y = 44,3694 – 0,27579***Dose	0,8789
Ca Folha	Y = 23,4436 – 0,10049***Dose	0,6598
Mg Folha	Ŷ = 7,84	-
N Pecíolo	Ŷ = 21,39	-
P Pecíolo	Ŷ = 3,50	-
K Pecíolo	Y = 127,382 – 1,1369***Dose	0,89866
Ca Pecíolo	Ŷ = 10,57	-
Mg Pecíolo	Ŷ = 17,77	-
N Caule	Ŷ = 18,54	-
P Caule	Ŷ = 3,12	-
K Caule	Ŷ = 36,63	-
Ca Caule	Ŷ = 3,45	-
Mg Caule	Ŷ = 12,79	-
N Raiz	Ŷ = 35,75	-
P Raiz	Ŷ = 5,94	-
K Raiz	Ŷ = 55,21	-
Ca Raiz	Ŷ = 5,19	-
Mg Raiz	Ŷ = 5,39	-

\*\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T.

**Tabela 42.** Ajustes de regressão para teores de micronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	Ŷ = 5,7483	-
Mn Folha	Y = 353,140 – 3,1738***Dose	0,8666
Fe Folha	Y = 376,364 – 4,1202***Dose + 0,02723*** Dose <sup>2</sup>	0,6975
Zn Folha	Y = 51,3793 – 0,24013***Dose	0,9087
Cu Pecíolo	Ŷ = 4,5679	-
Mn Pecíolo	Ŷ = 170,6459	-
Fe Pecíolo	Ŷ = 264,179	-
Zn Pecíolo	Ŷ = 61,321	-
Cu Caule	Ŷ = 4,902	-
Mn Caule	Ŷ = 139,580	-
Fe Caule	Ŷ = 121,884	-
Zn Caule	Ŷ = 44,662	-
Cu Raiz	Ŷ = 58,957	-
Mn Raiz	Ŷ = 336,878	-
Fe Raiz	Ŷ = 1704,792	-
Zn Raiz	Ŷ = 270,0432	-

\*\*\*, \*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 43.** Ajustes de regressão para acúmulo de macronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente (g)	Equação	R <sup>2</sup>
N Folha	$\hat{Y} = 0,044$	-
P Folha	$\hat{Y} = 0,0091$	-
K Folha	$Y = 0,064635 - 0,0005485^{***}Dose$	0,6407
Ca Folha	$Y = 0,033857 - 0,0002492^{***}Dose$	0,6256
Mg Folha	$\hat{Y} = 0,0096$	-
N Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0083$	-
P Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0013$	-
K Pecíolo	$Y = 0,048856 - 0,0004293^{***}Dose$	0,6913
Ca Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0036$	-
Mg Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0072$	-
N Caule	$\hat{Y} = 0,0192$	-
P Caule	$\hat{Y} = 0,0032$	-
K Caule	$\hat{Y} = 0,0394$	-
Ca Caule	$\hat{Y} = 0,0036$	-
Mg Caule	$\hat{Y} = 0,0134$	-
N Raiz	$\hat{Y} = 0,022$	-
P Raiz	$\hat{Y} = 0,0037$	-
K Raiz	$\hat{Y} = 0,0334$	-
Ca Raiz	$\hat{Y} = 0,0031$	-
Mg Raiz	$\hat{Y} = 0,0033$	-
N Planta	$\hat{Y} = 0,094$	-
P Planta	$\hat{Y} = 0,017$	-
K Planta	$Y = 0,20338 - 0,001434^{***}Dose$	0,7137
Ca Planta	$Y = 0,04545 - 0,0002835^{***}Dose$	0,6069
Mg Planta	$\hat{Y} = 0,0334$	-

\*\*\*,\*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

**Tabela 44.** Ajustes de regressão para acúmulo de micronutrientes no acesso UFRRJ-858 de pinhão manso submetido a doses crescentes de Al sob cultivo hidropônico.

Nutriente Parte Planta (g)	Equação	R <sup>2</sup>
Cu Folha	$\hat{Y} = 0,0073$	-
Mn Folha	$Y = 0,507615 - 0,005122^{***}Dose$	0,7227
Fe Folha	$\hat{Y} = 0,3756$	-
Zn Folha	$Y = 0,075198 - 0,0005808^{***}Dose$	0,6392
Cu Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0017$	-
Mn Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0659$	-
Fe Pecíolo	$\hat{Y} = 0,1010$	-
Zn Pecíolo	$\hat{Y} = 0,0241$	-
Cu Caule	$\hat{Y} = 0,0060$	-
Mn Caule	$\hat{Y} = 0,1392$	-
Fe Caule	$\hat{Y} = 0,1360$	-
Zn Caule	$\hat{Y} = 0,0476$	-
Cu Raiz	$\hat{Y} = 0,0353$	-
Mn Raiz	$\hat{Y} = 0,2060$	-
Fe Raiz	$\hat{Y} = 1,0697$	-
Zn Raiz	$\hat{Y} = 0,1627$	-
Cu Planta	$\hat{Y} = 0,050$	-
Mn Planta	$Y = 1,0228 - 0,007897^{***}Dose$	0,6566
Fe Planta	$\hat{Y} = 1,682$	-
Zn Planta	$\hat{Y} = 0,289$	-

\*\*\*,\*\*significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste T, respectivamente.

O acúmulo de nutrientes nas folhas do acesso UFRRJ-858 apresentou ajustes de regressão linear descendente para os nutrientes K, Ca, Mn e Zn (Tabela 43 e Tabela 44). A maior dose de Al aplicada, ou seja,  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu redução de 85% para K, 74% para Ca, 100% para Mn e 77% para Zn. O pecíolo ajustou equação de regressão apenas para K, onde a dose de  $100\mu\text{mol L}^{-1}$  promoveu redução de 88% (Tabela 43). O caule e raiz desse acesso não ajustaram equações de regressão, sendo suas médias de nutrientes acumulados apresentados nas Tabela 43 e Tabela 44.

A planta do acesso UFRRJ-858 teve ajustes de regressão para o acúmulo dos nutrientes K, Ca e Mn. A maior dose de Al promoveu redução de 71% para K, 62% para Ca e 77% para Mn (Tabela 43 e Tabela 44).

Os efeitos negativos causados pelo Al em plantas já são bastante discutidos na literatura com diversas culturas como citrus (Santos et al., 1999), videira (Tecchio et al., 2006), macieira (Dantas et al., 2001; Stolf et al., 2008), café (Mattiello et al., 2008), manga (Naing et al., 2009), girassol (Nascimento et al., 2012) e goiabeira (Salvador et al., 2000). Trabalhos com pinhão manso em relação a tolerância ao Al são ainda incipientes, principalmente no quesito sobre nutrição mineral da cultura, uma vez que, se avaliam basicamente, biométrica, massa seca dos tecidos vegetais e alguns nutrientes, além do próprio Al na planta (Gordin et al., 2013; Lana et al., 2013; Steiner et al., 2012; Macedo et al., 2011; Lana et al., 2009). Malavolta (2006); Epstein e Bloom (2006) e Miguel et al. (2010) destacam que as causas nas reduções desses parâmetros avaliados, é na verdade, consequência do real dano causado pelo Al na planta, dano esse que impede ou inibe a absorção de nutrientes, e estes então, pela ausência, não proporcionam um desenvolvimento adequado da planta. Trabalhos que explorem mais todo o comportamento nutricional da planta de pinhão manso em relação ao efeito tóxico do Al se tornam necessários para melhor elucidar sobre o assunto.

Todos os acessos de pinhão manso utilizados no presente trabalho apresentaram ajustes de regressão tanto nos teores, quanto no acúmulo do Mn nas folhas e plantas. O Mn, segundo Malavolta et al. (1997), é um micronutriente absorvido ativamente, de acordo com a cinética de Michaelis-Menten. Tem propriedades semelhantes às de metais alcalino-ferrosos, como o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e, por isso, esses cátions podem inibir sua absorção e transporte. Rossiello e Jacob Neto (2006) destacam a competição do  $\text{Al}^{3+}$  com os nutrientes Ca e Mg, através de competição por sítios de absorção no complexo de troca. Pode-se inferir que em função dessas afirmações, das propriedades semelhantes do Mn com o Ca e Mg, que a presença de Al em solução nutritiva é altamente desfavorável à absorção do Mn para a cultura do pinhão manso. Corroborando com esse resultado, Salvador et al. (2000), avaliando resposta de mudas de goiabeira ao acréscimo de  $\text{Al}^{3+}$  na solução nutritiva, relataram que o Mn foi o micronutriente menos favorecido em termos de absorção e acúmulo nas plantas.

Além do Mn, os nutrientes Ca, K, Fe e Zn apresentaram ajustes de equação para teores nas folhas de todos os acessos de pinhão manso, onde o acréscimo das doses de Al reduziram os seus respectivos valores. Os efeitos fitotóxicos do  $\text{Al}^{3+}$  quanto a esses nutrientes são discutidos em Malavolta (2006); Rossiello e Jacob Neto (2006) e Miguel et al. (2010) e muitos outros autores, onde o excesso de Al, além de inibir a formação normal das raízes, interfere nas reações enzimáticas, regula a disposição de polissacarídeos nas paredes celulares e interfere na absorção, no transporte e no uso de vários nutrientes, inclusive de P, Ca e Mg.

Corroborando com essas afirmações, Salvador et al. (2000) relataram que doses crescentes de Al reduziram a absorção e o transporte de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn para a parte aérea, sugerindo que a redução de Ca e Mg deve-se a uma inibição interiônica desses cátions pelo Al. Malavolta (2006) destaca que o excesso de Al na planta pode causar diminuição na absorção e transporte de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn; pode causar também aumento no vazamento de K nas células, entre outros dos diversos exemplos listados pelo autor quanto aos eventos que levam aos sintomas visuais de toxidez de Al.

Como apresentado anteriormente, os efeitos do Al na solução nutritiva foram distintos em relação aos acessos utilizados, onde, por exemplo, os acessos CNPAE-170 e CNPAE-190 apresentaram maior quantidade de ajustes de equações em relação aos teores e acúmulos de nutrientes, sendo 36 ajustes para cada acesso, conforme são apresentados nas Tabela 29, Tabela 30, Tabela 31, Tabela 32, Tabela 33, Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36. O Acesso UFRRJ-346 teve 20 ajustes de regressão quanto aos teores e acúmulos de nutrientes (Tabela 37, Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40). O acesso UFRRJ-858 foi o que apresentou menor número de ajustes, sendo 15 no total (Tabela 41, Tabela 42, Tabela 43 e Tabela 44).

Observa-se que todas as variáveis analisadas no presente trabalho demonstraram que os acessos de pinhão manso utilizados apresentaram diferentes níveis de respostas, indicando a existência de controle genético para futuros trabalhos de melhoramento que busquem tolerância ao Al. Este fato pode ser explicado pela alta variabilidade genética existente entre os acessos de pinhão manso. As características genéticas que determinam a tolerância Al ainda não são consolidadas nos bancos de germoplasma existentes para essa espécie, devido ao fato de que os programas de melhoramento dessa cultura ainda ser recente no Brasil. Laviola et al. (2010) demonstraram e descreveram a alta variabilidade fenotípica dos diferentes acessos de pinhão manso cultivados estudando parâmetros genéticos de 110 acessos de pinhão manso.

## 5.6 CONCLUSÕES

O comprimento das raízes, número de folhas e altura das plantas para os acessos de pinhão manso CNPAE-170, CNPAE-190, UFRRJ-346 e UFRRJ-858 foram influenciados pelas doses de  $Al^{+3}$ , havendo redução com o aumento das doses.

Os teores de clorofila a, b e total no acesso UFRRJ-858 e o teor de carotenoide no acesso CNPAE190 extraído com DMSO foram influenciados pelas doses de  $Al^{+3}$ , havendo redução com o aumento da dose.

Os teores e acúmulos de nutrientes em todos os acessos de pinhão manso foram influenciados pelo aumento das doses de  $Al^{3+}$  na solução nutritiva, havendo redução.

O acesso UFRRJ-858 apresentou o menor número de ajustes de regressão para as variáveis teor e acúmulo de nutrientes.

## **6. CAPÍTULO IV:**

### **ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE CRAMBE EM FUNÇÃO DA FERTILIZAÇÃO COM TORTA DE MAMONA E SERPENTINITO**

## 6.1 RESUMO

O uso de fontes alternativas para a fertilização na agricultura vem sendo cada vez mais explorada pelo homem, devido à escassez das fontes finitas dos minerais utilizados atualmente. Produtos como a torta de mamona e silicatos de serpentinito, podem ser fontes viáveis para o uso na agricultura. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar os teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg na cultura do crambe, assim como a sua produção em função da adubação com torta de mamona PDS e silicato de serpentinito. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em um delineamento inteiramente casualizado, com sete doses de torta de mamona PDS e duas doses de silicato de serpentinito (com e sem enxofre elementar), totalizando 21 tratamentos. Utilizaram-se as doses de 0,0; 0,5; 1; 2; 4; 6 e 8 t ha<sup>-1</sup> de torta de mamona PDS (equivalente à aplicação de 0, 15, 30, 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N) e as doses de silicato de serpentinito em 0 e 1 t ha<sup>-1</sup>, com e sem enxofre. A aplicação de silicato de serpentinito sem enxofre aumentou os teores e conteúdos de nutrientes de N, P, K, Ca e Mg do crambe e a produção de sementes. O uso de torta de mamona PDS como fertilizante orgânico favoreceu o crescimento e desenvolvimento do crambe. A dose de 8 t ha<sup>-1</sup> de torta de mamona PDS foi a mais indicada para a fertilização da cultura do crambe

**Palavras-chave:** Resíduos na agricultura. Biodiesel. Oleaginosas. *Crambe abyssinica* H.

## 6.2 ABSTRACT

The use of alternative sources for fertilization in agriculture is being increasingly exploited by man because of the shortage of the finite sources of minerals used today. Products such as cake castor bean and serpentinite silicate, may be viable sources for use in agriculture. Thus, the aim of this study was to evaluate the contents and accumulation of N, P, K, Ca and Mg in the culture of crambe, as well as their production in line with fertilization cake castor bean PDS and silicate serpentinite. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with seven doses of cake castor bean PDS and two doses of serpentinite silicate (with and without elemental sulfur), totaling 21 treatments. We used doses of 0.0, 0.5, 1, 2, 4, 6 and 8ton ha<sup>-1</sup> of cake castor bean PDS (equivalent to the application of 0, 15, 30, 60, 120 and 240kg ha<sup>-1</sup>) and the doses of serpentinite silicate 0 and 1ton ha<sup>-1</sup> for with and without sulfur. The application of serpentinite silicate without sulfur increased the contents and accumulation of N, P, K, Ca and Mg and the crambe seed production. The use of castor bean PDS as organic fertilizer increased the growth and development of crambe. In general, the dose of 8 ton ha<sup>-1</sup> was the most suitable for the fertilization of the crambe crop.

**Keywords:** Waste in agriculture. Biofuel. Oilseeds. *Crambe abyssinica* H.



### 6.3 INTRODUÇÃO

O crambe (*Crambe abyssinica*) destaca-se como uma potencial fonte de matéria prima para a produção do biodiesel. Segundo Pitol et al. (2010), esta oleaginosa é promissora na produção de biodiesel devido ao ciclo curto de produção (em torno de 90 dias), a sua adaptabilidade de cultivo em clima tropical e subtropical e ao seu alto teor de óleo (entre 30 e 45%). As áreas cultivadas de Crambe no Brasil são setorizadas, principalmente na região Centro Oeste, em sistemas de plantio direto, como safrinha (Heinz et al., 2011).

No processamento de oleaginosas visando a obtenção de biocombustíveis, coprodutos são gerados, como as tortas e a glicerina (Abdalla et al., 2008); particularmente, as tortas se destacam por possuírem alto potencial de uso como fertilizantes. Em especial a torta de mamona (*Ricinus communis*) é um coproduto de maior uso como fertilizante por ser rico em N, P e K, por atuar na melhoria das características químicas e físicas do solo. Assim, promove um aumento da aeração, da capacidade de retenção de água e do pH do solo, além de se destacar em termos de oferta no mercado, devido a sua cadeia bem estabelecida e a sua demanda comercial quanto ao uso do óleo gerado (Embrapa, 2007; Severino, 2006).

Outra fonte alternativa para a fertilização das plantas é o silicato de serpentinito, um material oriundo da rocha de serpentinito, que diferente dos demais silicatos é uma fonte rica em magnésio, apresentando teores de até 42% de MgO, podendo contribuir no balanceamento da relação Ca/Mg do solo (Friedman, 2010; Souza et al., 2007). Deve-se considerar ainda a presença significativa do silício, em torno de 44% de SiO<sub>2</sub>, favorecendo, portanto, a remineralização do solo, que por sua vez favorece o desenvolvimento de microrganismos que produzirão ácidos húmicos e disponibilizarão os nutrientes de forma mais equilibrada. Esse efeito, no conjunto solo-planta, propicia a economia de fungicidas e inseticidas além de favorecer o desenvolvimento das plantas e melhoria na qualidade dos frutos (Korndörfer, 2002). Por ser um material de origem natural, ou seja, não ser proveniente de processo industrial como rejeito, não contém teores significativos de elementos prejudiciais à planta ou mananciais. A rocha serpentinito é formada por vários minerais, dentre eles a antigorita e lizardita (Friedman, 2010).

A ação dos silicatos dar-se de forma semelhante aos carbonatos no solo, a partir de um aumento de pH, da precipitação de Al e Mn tóxicos e do aumento nos teores de Ca e Mg e de Si no solo (Epstein, 1999; Korndörfer, 2002).

Além de apresentar-se como corretivo, a absorção e o metabolismo do silício nas plantas tem sido relacionada à resistência ao ataque de pragas, devido a sua polimerização celular e formação de barreiras mecânicas celulares e, conseqüente, aumento da resistência celular através da garantia da integridade e estabilidade das membranas (Lima-Filho, 2009), assim como a ação de estimular o sistema antioxidante na planta (Zuccarini, 2008).

É importante destacar a interação dos fertilizantes silicatados com a adubação NPK, por reduzirem a lixiviação de K<sup>+</sup>, assim como de outros nutrientes móveis no solo (Lima-Filho et al., 1999), além de adsorverem o fósforo solúvel (P), reduzindo a fixação deste nutriente sem a redução da disponibilidade de P às plantas devido a manutenção das formas trocáveis na superfície dos silicatos (Matichenkov e Calvert, 2002).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os teores e conteúdos de macronutrientes do Crambe, assim como a sua produtividade, em função da utilização de torta de mamona produzida direto da semente (PDS) e silicato de serpentinito.

## 6.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da UFRRJ. O solo utilizado foi retirado nos primeiros 20 centímetros do horizonte A de um Planossolo Háplico, cujas características químicas e físicas obtidas foram, segundo Embrapa (1997), em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ : K = 0,01; Ca = 1,0; Mg = 0,1; Al = 0,04; H+Al = 1,0; CTC = 2,12 e, P = 10, em  $\text{mg dm}^{-3}$ ; saturação por bases = 53%; carbono orgânico = 0,94%; e pH em água = 5,6. A granulometria obtida foi de 900, 40 e 60 ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de areia, silte e argila, respectivamente.

Foram semeadas dez sementes por vaso em 11/02/2011. As sementes de crambe foram obtidas na Fundação MS. As plantas foram desbastadas em 18/02/2011, deixando-se quatro plantas por vaso.

A torta de mamona PDS foi obtida na unidade experimental de produção de biodiesel da Petrobrás localizada na cidade de Guamaré-RN. A caracterização da torta de mamona foi realizada pela digestão sulfúrica proposta por Tedesco et al. (1995), na qual apresentou os seguintes teores, em  $\text{g kg}^{-1}$ : 30 de N; 4,85 de P; 1,1 de K; 1,9 de Mg e 30 de Ca.

O silicato de serpentinito com e sem enxofre foi adquirido junto à empresa Pedras Congonhas Ltda. A composição química dos silicatos, foi de: 0,14% de CaO, 30,68% de MgO e 44,35% de  $\text{SiO}_2$  para o silicato sem enxofre e, 0,95% de CaO, 30,17% de MgO e 41,62% de  $\text{SiO}_2$  e 4% de S- $\text{SO}^{-4}$  para o silicato com enxofre.

As parcelas foram dispostas em delineamento inteiramente casualizado, com sete doses de torta de mamona PDS e duas doses de silicato de serpentinito com e sem enxofre elementar totalizando 21 tratamentos sendo as doses de torta de mamona PDS distribuídas em 0,0; 0,5; 1; 2; 4; 6 e 8  $\text{t ha}^{-1}$  (respectivo à aplicação de 0, 15, 30, 60, 120 e 240  $\text{kg ha}^{-1}$  de N) e as doses de silicato de serpentinito em 0 e 1  $\text{t ha}^{-1}$ , para com e sem enxofre, sendo essa quantidade necessária para fornecer Si disponível para a cultura a ser implantada (Prates, 2009). Cada parcela foi composta por um vaso de polietileno com capacidade de 1,8  $\text{dm}^3$ .

Aos 90 dias após plantio as plantas foram coletadas e seccionadas em raiz, parte aérea e sementes. As partes coletadas foram secas a 65°C, até peso constante (72 horas). Após a secagem, as amostras foram pesadas para a determinação da massa de matéria seca.

Para determinação dos nutrientes, o material vegetal foi moído e peneirado em malha de 0,841 mm, logo após submetido a digestão sulfúrica para a determinação de N, P, K, Ca e Mg, de acordo com TEDESCO et. al (1995). Sendo o conteúdo de macronutrientes calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Acúmulo de nutriente (g)} = (\text{teor de macronutriente}) \times (\text{peso da MST})/1000.$$

Sendo, MST = massa seca total da parte analisada.

Amostras de solo foram retiradas de cada vaso, após a coleta das plantas, para análise dos nutrientes disponíveis K, Ca, Mg, Al e P, H+Al, além da CTC e saturação por bases calculados e, Carbono orgânico e pH de acordo com Embrapa (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas às doses de silicatos comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) e as doses de torta de mamona ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada pelo teste T ( $p \leq 0,05$ ). Para a análise de variância foi usado o programa SAEG (SAEG, 2007), enquanto para o ajuste das equações de regressão foi utilizado o programa Tablecurve (Jandel Scientific, 1991).

## 6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis analisadas no experimento, não foram constatadas interações significativas entre as doses de torta de mamona e silicatos de serpentinito aplicados.

Não houve diferença estatística entre as aplicações de silicato de serpentinito, e os teores médios disponíveis no solo após a coleta das plantas foram (em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ),  $K = 0,03$ ;  $Ca = 1,36$ ;  $Mg = 0,60$ ;  $Al = 0,03$ ;  $H+Al = 1,2$ ;  $CTC = 3,2$ ;  $P = 16,0$  em  $\text{mg dm}^{-3}$ ; Saturação por bases =  $63,0\%$ ; Carbono orgânico =  $0,72\%$ ; e pH em água =  $6,4$ . Pode-se observar um aumento dos nutrientes e do pH no solo em comparação aos teores disponíveis no solo.

Comparando-se os resultados obtidos com as recomendações de Broch e Roscoe (2010), os teores médios em  $\text{cmol}_c$  de  $Ca = 1,36$ ;  $Mg = 0,6$ ;  $K = 0,03$  e  $P = 16,0$  em  $\text{mg dm}^{-3}$ , disponíveis no solo após a coleta das plantas, ficaram dentro daqueles considerados como adequados pelos autores. O valor do pH e  $V\%$ ,  $6,4$  e  $63$ , respectivamente, também ficaram dentro da faixa considerada ideal para Broch e Roscoe (2010) e Janegitz et al. (2010).

Para as variáveis massa seca de raiz e de parte aérea, a aplicação de silicato com e sem enxofre não foi significativa, diferindo apenas a variável massa seca de sementes, que aumentou com a aplicação do silicato de serpentinito sem enxofre (Tabela 45), ou seja, pode-se observar que a presença do enxofre elementar no silicato reduziu a produção de sementes de crambe, enquanto a aplicação de silicatos sem enxofre aumentou a produção de grãos da cultura.

**Tabela 45.** Massa seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e da semente (MSSem) do crambe, adubado com torta de mamona e silicato de serpentinito com e sem enxofre.

Silicato	MSR	MSPA	MSSem
	.....(g).....		
Ausente	1,76 a	4,05 a	0,82 ab
Sem enxofre	1,68 a	3,82 a	0,92 a
Com enxofre	1,23 a	4,18 a	0,61 b

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fernandez et al. (2009) observaram aumento na produção de massa seca do feijoeiro quando crescidos em doses de  $0,78 \text{ t ha}^{-1}$  de silicato de cálcio e magnésio juntamente com  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de resíduo cultural de braquiária. Por outro lado, Prates et al. (2011) observaram que a cultura do pinhão manso cultivado no campo em Cambissolo não respondeu a aplicação  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de silicato de cálcio e magnésio, assim como Zuba Junio et al. (2011), que também não detectaram diferenças no crescimento inicial da mamoneira com aplicação de  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de silicato de cálcio e magnésio.

Ao se avaliar os teores de nutrientes obtidos, observaram-se incrementos no teor de Mg nas raízes das plantas conduzidas na dose  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de silicato contendo S (Tabela 46), com teores de,  $0,99 \text{ g kg}^{-1}$ , quando comparados às conduzidas nos tratamentos com silicato sem enxofre e sem aplicação do silicato,  $0,78$  e  $0,72 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente.

Ocorreram aumentos nos teores dos nutrientes no solo, como discutido anteriormente, sendo Mg o mais significativo dentre eles. Essa contribuição pode estar ligada a alta concentração natural do Mg no silicato de serpentinito utilizado ( $30,17\%$ ).

As plantas conduzidas nos tratamentos com silicato de serpentinito sem enxofre apresentaram os maiores valores nos conteúdos de N, P e K nas sementes, entretanto não foram observados incrementos quanto aos teores de Ca e o Mg, na parte aérea e na raiz (Tabela 46). Korndörfer et al. (2002) e Claussen e Lens (1995) relatam que a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio aumenta a eficiência da adubação N-P-K, sendo essa afirmação

corroborada por Carvalho et al. (2009), que constataram aumento nos teores de N-P-K-Ca e Mg nos tecidos foliares de girassol ornamental adubado com silicato de potássio.

**Tabela 46.** Médias do teor de N na raiz (NR), do conteúdo de N na raiz (NTR), no teor de N na parte aérea (NPa), no conteúdo de N na parte aérea (NTPa), no teor de N na semente (NSem) e no conteúdo de N na semente (NTSem); teor de P na raiz (PR), conteúdo de P na parte aérea (PPa), teor de P na semente (PSem) e conteúdo de P na semente (PTSem); teor de K na raiz (KR), conteúdo de K na raiz (KTR), teor de K na parte aérea (KPa), conteúdo de K na parte aérea (KTPa), teor de K na semente (KSem) e conteúdo de K na semente (KTSem); teor de Ca na raiz (CaR), conteúdo de Ca na raiz (CaTR), teor de Ca na parte aérea (CaPa), conteúdo de Ca na parte aérea (CaTPa), teor de Ca na semente (CaSem) e conteúdo de Ca na semente (CaTSem); teor de Mg na raiz (MgR), conteúdo de Mg na raiz (MgTR), teor de Mg na parte aérea (MgPa), conteúdo de Mg na parte aérea (MgTPa), teor de Mg na semente (MgSem) e conteúdo de Mg na semente (MgTSem) de crambe, adubado com torta de mamona e silicato de serpentinito com e sem enxofre.

Silicato	NR	PR	KR	CaR	MgR
			(g kg <sup>-1</sup> )		
Ausência	7,43 a	0,95 a	1,39 a	3,23 a	0,72 b
Sem enxofre	7,35 a	0,98 a	1,38 a	3,18 a	0,78 b
Com enxofre	8,41 a	0,93 a	1,35 a	3,36 a	0,99 a
Silicato	NPa	PPa	KPa	CaPa	MgPa
			(g kg <sup>-1</sup> )		
Ausência	10,34 a	1,07 a	3,72 a	2,90 a	0,80 a
Sem enxofre	10,52 a	0,93 a	3,73 a	3,28 a	1,01 a
Com enxofre	11,88 a	1,22 a	3,84 a	2,99 a	1,15 a
Silicato	NSem	PSem	KSem	CaSem	MgSem
			(g kg <sup>-1</sup> )		
Ausência	51,59 a	6,85 a	5,87 a	7,01 a	1,12 a
Sem enxofre	53,00 a	6,55 a	4,97 a	7,95 a	1,23 a
Com enxofre	52,70 a	6,71 a	5,27 a	11,88 a	1,11 a
Silicato	NTR	PTR	KTR	CaTR	MgTR
			(g)		
Ausência	0,013 a	0,002 a	0,003 a	0,006 a	0,001 a
Sem enxofre	0,013 a	0,002 a	0,002 a	0,005 a	0,001 a
Com enxofre	0,011 a	0,001 a	0,002 a	0,004 a	0,001 a
Silicato	NTPa	PTPa	KTPa	CaTPa	MgTPa
			(g)		
Ausência	0,042 a	0,004 a	0,015 a	0,012 a	0,003 b
Sem enxofre	0,039 a	0,003 a	0,014 a	0,013 a	0,004 ab
Com enxofre	0,050 a	0,005 a	0,016 a	0,013 a	0,005 a
Silicato	NTSem	PTSem	KTSem	CaTSem	MgTSem
			(g)		
Ausência	0,041 a	0,006 ab	0,004 ab	0,005 a	0,001 a
Sem enxofre	0,043 a	0,006 a	0,004 a	0,005 a	0,001 a
Com enxofre	0,029 b	0,004 b	0,003 a	0,004 a	0,001 a

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Dos nutrientes analisados, o N foi o nutriente que apresentou os maiores valores tanto para teores quanto para o seu conteúdo. Pitol et al. (2010) também afirmam que o N é o nutriente que apresenta maiores teores nos grãos de crambe.

Não houve ajuste de curva de regressão para os valores de rotina do solo em função da aplicação de torta de mamona PDS, sendo os valores médios apresentados (em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), K

= 0,03; Ca = 1,36; Mg = 0,60; Al = 0,03; H+Al = 1,2; CTC = 3,2; P = 16,10 em mg dm<sup>-3</sup>; Saturação por bases = 63,0%; Carbono orgânico = 0,72%; e pH em água = 6,4.

Os valores de nutrientes residuais no solo apresentados em função da aplicação da torta de mamona PDS corroboram com obtidos no trabalho realizado por Silva et al. (2012); Estes autores concluíram que a torta de mamona PDS, como fertilizante orgânico, apresenta-se como grande potencial de uso na agricultura como fornecedora de nutrientes.

Houve aumento da massa seca de raiz, parte aérea e de sementes, a partir de incrementos da torta de mamona PDS, conforme apresentados na Tabela 47.

A elevação nas doses de torta de mamona PDS resultou no aumento da massa seca da raiz (Tabela 47). De acordo com a equação linear encontrada, com a aplicação equivalente a 8 t ha<sup>-1</sup> de torta de mamona PDS, houve aumento médio de massa de 2,93g planta<sup>-1</sup>. O ganho de massa das raízes do crambe em função do incremento de torta de mamona PDS demonstra a exigência da cultura por nutrientes e também corrobora com o descrito na literatura sobre o crambe ser uma cultura considerada boa recicladora de nutrientes (Knights, 2002; Pitol et al., 2010; Janegitz et al., 2010).

**Tabela 47.** Quadro de equações ajustadas das variáveis analisadas em crambe adubado com torta de mamona.

Variável	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Massa seca da Raiz (g)	Y = 0,69721 + 0,27956***X	0,8188
Massa seca da Parte Aérea (g)	Y = 2,63588 + 0,6979***X - 0,04402**X <sup>2</sup>	0,9856
Massa seca da Semente (g)	Y = 0,29941 + 0,15755***X	0,9637
Nitrogênio na Raiz (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 7,73	-
Fósforo na Raiz (g kg <sup>-1</sup> )	Y = 0,74684 + 0,0671**X	0,7711
Potássio na Raiz (g kg <sup>-1</sup> )	Y = (1,51245 + 0,1273***X) <sup>0,5</sup>	0,8519
Cálcio na Raiz (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 3,26	-
Magnésio na Raiz (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 0,83	-
Nitrogênio na Parte Aérea (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 10,92	-
Fósforo na Parte Aérea (g kg <sup>-1</sup> )	Y = (1,8703 - 0,1176**X) <sup>0,5</sup>	0,7153
Potássio na Parte Aérea (g kg <sup>-1</sup> )	Y = 3,48402 + 0,016263**X <sup>2</sup>	0,9038
Cálcio na Parte Aérea (g kg <sup>-1</sup> )	Y = (4,2883 + 3,4409***X - 0,28249***X <sup>2</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,6578
Magnésio na Parte Aérea (g kg <sup>-1</sup> )	Y = 0,6192 + 0,1382***X	0,6285
Nitrogênio na Semente (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 52,43	-
Fósforo na Semente (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 6,70	-
Potássio na Semente (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 5,37	-
Cálcio na Semente (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 8,95	-
Magnésio na Semente (g kg <sup>-1</sup> )	Y = Ym = 1,15	-
Conteúdo N Raiz (g)	Y = 0,00454 + 0,002613***X	0,9108
Conteúdo P Raiz (g)	Y = 0,0004697 + 0,0003789***X	0,9218
Conteúdo K Raiz (g)	Y = 0,0008124 + 0,0004653***X	0,8705
Conteúdo Ca Raiz (g)	Y = 0,002143 + 0,0009726***X	0,8277
Conteúdo Mg Raiz (g)	Y = 0,0005397 + 0,000252***X	0,8512
Conteúdo de N Parte Aérea (g)	Y = 0,03396 + 0,00294***X	0,8727
Conteúdo de P Parte Aérea (g)	Y = Ym = 0,004	-
Conteúdo de K Parte Aérea (g)	Y = 3,48402 + 0,016263**X	0,9038
Conteúdo de Ca Parte Aérea (g)	Y = 0,00691 + 0,00195***X	0,8585
Conteúdo de Mg Parte Aérea (g)	Y = 0,002172 + 0,0006558***X	0,9052
Conteúdo N na Semente (g)	Y = 0,015135 + 0,008096***X	0,9786
Conteúdo P na Semente (g)	Y = 0,001985 + 0,00108***X	0,9668
Conteúdo K na Semente (g)	Y = 0,001531 + 0,000841***X	0,9658
Conteúdo Ca semente (g)	Y = 0,003349 + 0,000412**X	0,9286
Conteúdo Mg Semente (g)	Y = 0,0003778 + 0,0001596***X	0,9590

\*\*, \*\*\* significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

Para a massa seca das sementes, houve um ajuste linear positivo, sendo que a maior dose equivalente a 8t ha<sup>-1</sup> obteve um ganho de 1,56g planta<sup>-1</sup>. Os valores encontrados se

aproximam dos observados por Pitol et al. (2010), cerca de 1,7g de semente planta<sup>-1</sup>. Por outro lado, esse valor encontra-se abaixo do relatado por Janegitz et al. (2010), que obtiveram um ganho médio de 2,4g de sementes por planta. Esse contraste se justifica pela adubação de plantio utilizada pelos autores, sendo 75mg dm<sup>-3</sup> de N (na forma de sulfato de amônio e de nitrato de amônio), 150mg dm<sup>-3</sup> de P (termofosfato) e 120mg dm<sup>-3</sup> de K (cloreto de potássio).

O comportamento linear no ganho de massa seca das raízes, promoveram aumentos lineares para os teores de P e K e também aumento dos conteúdos de N, P, K, Ca e Mg na raiz (Tabela 47). Esses resultados demonstram que o uso de torta de mamona PDS na produção do crambe pode ser viável. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2012), onde os autores verificaram que os teores de nutrientes em plantas de mamona foram proporcionais a aplicação de doses torta de mamona PDS, a mesma torta utilizada nesse experimento.

Para os teores de nutrientes da parte aérea do crambe, apenas o P, K, Ca e Mg ajustaram curva de regressão com a aplicação de torta de mamona PDS (Tabela 47). Apesar do N não ter ajustado curva de regressão, o seu teor médio ficou em 10,92g kg<sup>-1</sup>.

Para o teor de P na parte aérea, houve um decréscimo com aplicação de 8 t ha<sup>-1</sup> de 0,96g kg<sup>-1</sup> (Tabela 47). O aumento significativo da massa seca da parte aérea pode ter conferido ao teor de P o chamado efeito diluição desse nutriente. Casarini et al. (1984) também relataram o efeito diluição em colza (*Brassica napus*) com o aumento da matéria seca da parte aérea.

Para o teor de K na parte aérea, a dose de 8t ha<sup>-1</sup> promoveu um teor máximo de 4,52g kg<sup>-1</sup>, esse valor encontra-se próximo dos relatados por Casarin et al. (1984) ao trabalharem com colza (*Brassica napus*). Segundo Knights (2002) a exigência à fertilidade do solo do crambe se assemelha às culturas de pequenos grãos, como a colza (*Brassica napus* L.), a canola (*Brassica napus* L. e *Brassica rapa* L.) e a mostarda (*Brassica juncea* L.), porém não existem ainda recomendações específicas para a cultura do crambe.

Em relação ao teor de Ca na parte aérea (Tabela 47), a aplicação máxima de 6 t ha<sup>-1</sup> promoveu um ganho de 3,84g kg<sup>-1</sup>. Já para o teor de Mg na parte aérea, houve um ajuste de regressão linear com a aplicação da torta de mamona PDS. A aplicação de 8t ha<sup>-1</sup> promoveu um ganho de 1,72g kg<sup>-1</sup> deMg. Apesar de não haver na literatura faixas adequadas de teores de nutrientes para a cultura do crambe, os valores encontrados podem ser considerados adequados, uma vez que os teores disponíveis no solo após a coleta das plantas estão dentro da faixa recomendada para a fertilização do crambe, como descrito por Broch e Roscoe (2010) e Janegitz et al.(2010). Os valores médios detectados no solo após a coleta das plantas pela aplicação da torta de mamona PDS, em Cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, foram: Ca = 1,36 e Mg = 0,59, e do pH e a saturação por bases, 6,36 e 63,09%, respectivamente.

Em relação aos conteúdos de nutrientes da parte aérea, houve ajuste de curva de regressão linear para N, K, Ca e Mg. Com a aplicação de 8 t ha<sup>-1</sup> de torta de mamona PDS, houve um ganho de 0,06g de N; 3,6 g de K; 0,023g de Ca e 0,007g de Mg por planta. Esses valores estão próximos ao encontrado por Heinz et al. (2011), onde os autores avaliaram a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais do crambe, na implantação do sistema de plantio direto. Os autores relataram que o crambe tem uma boa produção de massa seca e que sua palhada apresenta maior persistência no solo. Essas informações corroboram com Pitol et al. (2010), em que, segundo os autores, o crambe se torna uma alternativa interessante como safrinha pela sua rusticidade, tolerância a seca e ao frio e também pela eficiência na ciclagem de nutrientes pela sua palhada.

Em relação ao ajuste de curva de regressão para os conteúdos de nutrientes nas sementes de crambe em função da aplicação de torta de mamona PDS, houve um ajuste linear para todos os nutrientes analisados. A aplicação de 8 t ha<sup>-1</sup> promoveu um ganho na semente de 0,08g de N; 0,011g de P; 0,008g de K; 0,007g de Ca e 0,002g de Mg por planta. Como

apresentado, dentre os nutrientes, o N apresentou o maior conteúdo nas sementes, corroborando com os resultados apresentados por Pitol et al. (2010). Os valores dos demais nutrientes estão próximos dos relatados pelos autores.

## **6.6 CONCLUSÕES**

A aplicação de silicato de serpentinito sem enxofre aumentou os teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg do crambe e a produção de sementes.

O uso de torta de mamona PDS como fertilizante orgânico incrementou o crescimento e desenvolvimento do crambe. De modo geral, a dose de 8t ha<sup>-1</sup> foi a mais indicada para a fertilização da cultura do crambe.



## **7. CAPÍTULO V:**

### **USO DE DIFERENTES TORTAS DE OLEAGINOSAS PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO CRAMBE**

## 7.1 RESUMO

Cada dia mais se tem buscado novas alternativas quanto ao uso de combustíveis. Nota-se um grande empenho no país de substituir o uso de combustíveis fósseis por fontes alternativas de energia. A cultura do crambe (*Crambe abyssinica*) é uma nova opção de matéria prima como fonte alternativa na produção do biodiesel. O uso de co-produtos da cadeia produtiva do biodiesel, como as tortas de oleaginosas como fertilizante, por exemplo, faz com que se possa atingir a sustentabilidade dessa cadeia. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento do crambe e os teores disponíveis de nutrientes no solo em função da adubação com diferentes tortas de oleaginosas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de set/2012 a nov/2012. Os tratamentos, em esquema fatorial, 3 x 2, distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, corresponderam a 3 tipos de tortas de oleaginosas (torta de pinhão manso, torta de mamona e torta de girassol) em duas condições de solo, sendo um solo natural e outro incubado para elevação do pH a 6,5. Em pleno florescimento, as plantas foram coletadas e foram realizadas determinações de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea e raiz das plantas. Foi determinado também os teores disponíveis de nutrientes no solo após coleta das plantas. De acordo com os teores de nutrientes na parte aérea das plantas de crambe, foi observada a seguinte ordem:  $K > N \geq Ca > P > Mg$ . Para os teores nas raízes foi observada a seguinte ordem:  $K > N \geq Ca \geq P > Mg$ . O uso das tortas de pinhão manso, torta de girassol e torta de mamona disponibilizaram nutrientes para um bom desenvolvimento das plantas de crambe. O crambe demonstrou uma maior exigência em K quando comparado aos demais nutrientes. A aplicação de tortas de oleaginosas associada à incubação do solo aumenta os teores de nutrientes no solo em comparação ao solo não incubado.

**Palavras-chave:** Resíduos na agricultura. Nutrição mineral. Calagem. *Crambe abyssinica* H.

## 7.2 ABSTRACT

Increasingly has sought new alternatives for the use of fuels. There has been a great effort in the country to replace the use of fossil fuels with alternative energy sources. The culture of crambe (*Crambe abyssinica* H.) is a new option as an alternative feedstock for the production of biodiesel source. The use of co-products from the biodiesel production chain, such as oilseed pie as fertilizer, for example, means that we can achieve sustainability of this chain. Given the above, this study aimed to evaluate the growth of crambe and levels of available nutrients in the soil as a function of fertilization with different oilseed pies. The experiment was conducted in a greenhouse at the experimental field of the Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, between the Sep/2012 nov/2012. Treatments in a factorial 3 x 2 layout, distributed in a completely randomized design with four replicates, corresponding to 3 types of oilseed pies (physic nut pie, castor oil cake and sunflower pie) in two soil conditions, and a natural soil and incubated for a increase of pH to 6.5. In full bloom, the plants were collected and determinations of N, P, K, Ca and Mg in shoots and roots of plants were performed. The levels of available nutrients in the soil was also determined after plant harvest. According to the amounts of nutrients in the shoots of crambe, the following order was observed:  $K > N \geq Ca > P > Mg$ . For in roots content was observed in the following order:  $K > N \geq Ca \geq P > Mg$ . the use of physic nut pies, sunflower pie and castor oil cake made available nutrients good for growth plant crambe. The crambe demonstrated greater emphasis on K when compared to other nutrients. The application of oilseed pies associated with incubation of the soil increases the nutrient content in the soil, when compared to the soil not incubated.

**Keywords:** Waste in agriculture. Mineral nutrition. Liming. *Crambe abyssinica* H.

### 7.3 INTRODUÇÃO

No Brasil, em 2010 a produção de biodiesel alcançou os 212.719m<sup>3</sup> segundo o anuário estatístico Agroenergético do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (Brasil, 2013). Grande parte desse volume tem como matéria prima a soja (*Glycine max*), cerca de 83% da produção total de biodiesel vem dessa oleaginosa. As demais oleaginosas que apresentam potencial como matéria prima não chegam a 1,5% da produção de biodiesel no Brasil (Brasil, 2013). Esses dados mostram a grande dependência pela soja que o País ainda tem em relação à matriz agroenergética do biodiesel brasileiro.

Segundo o Anuário Estatístico Agroenergético do MAPA (Brasil, 2013), as culturas oleaginosas que contribuíram para a produção de biodiesel no Brasil no ano de 2012 foram a mamona, o girassol, a palma, o amendoim, o algodão e a soja. A busca por novas oleaginosas como alternativas para produção de biodiesel se faz necessária para tornar a matriz bioenergética menos dependente de poucas matérias primas.

A cultura do crambe (*Crambe abyssinica*) é uma nova opção de matéria prima como fonte alternativa na produção do biodiesel. Esta oleaginosa pertence à família *Brassicaceae* que, segundo Pitol et al., (2010) é adaptada ao clima tropical e subtropical, apresenta teores de óleo entre 30 e 45%, e além de destacar-se por ser uma fonte rápida, devido ao curto ciclo, de matéria-prima para produção de biodiesel.

No Brasil, a implantação da cultura tem se realizado principalmente na região Centro Oeste, onde é utilizada como safrinha, nos sistemas de plantio direto (Heinz et al., 2011; Pitol et al., 2010). Os estudos quanto a exigência nutricional da cultura do crambe, ainda são incipientes, porém, Mauad et al. (2013) encontraram, de acordo com os teores dos macronutrientes na parte aérea das plantas de crambe, a seguinte ordem: N>Ca>P>S>K>Mg.

O uso de co-produtos da cadeia produtiva do biodiesel, como as tortas de oleaginosas como fertilizante, por exemplo, faz com que se possa atingir a sustentabilidade dessa cadeia (Abdalla et al., 2008). De acordo com Azevedo e Lima (2001), a cada tonelada de óleo extraído são gerados cerca de 1,2 toneladas de torta; que corresponde a aproximadamente 50% do peso das sementes, valor este que pode variar de acordo com o teor de óleo da semente e do processo industrial de extração do óleo.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de desenvolvimento do crambe e os teores disponíveis de nutrientes no solo em função da adubação com diferentes tortas de oleaginosas.

## 7.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, situado em torno das coordenadas geográficas 22° 44' 38" S e 43° 42' 27" W, em uma altitude média de 30 m acima do nível do mar, no período de set/2012 a nov/2012.

O solo utilizado foi coletado da camada superficial do solo (0 – 20 cm), posteriormente seco, destorroado e peneirado em malha de 4 mm, sendo este proveniente de um Planossolo Háptico (EMBRAPA, 2006), textura arenosa, cujas características químicas e físicas obtidas foram, segundo EMBRAPA (1997), em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ : K = 0,01; Ca = 1,0; Mg = 0,1; Al = 0,04; H+Al = 1,0; CTC = 2,12 e, P = 10, em  $\text{mg dm}^{-3}$ ; saturação por bases = 53%; carbono orgânico = 9,4  $\text{g kg}^{-1}$ ; e pH em água = 5,6. As características granulométricas obtidas foram de 900, 40 e 60 ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de areia, silte e argila, respectivamente. Foi utilizado como planta indicadora o crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst).

Os tratamentos, em esquema fatorial, 3 x 2, distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, corresponderam a 3 tipos de tortas de oleaginosas (torta de pinhão manso, torta de mamona e torta de girassol) em duas condições de solo, sendo um solo natural e outro incubado para elevação do pH a 6,5 de acordo com metodologia proposta por Stafanato (2009).

Na Tabela 48 são apresentadas as características químicas das tortas de oleaginosas utilizadas no experimento.

**Tabela 48.** Caracterização química de tortas de oleaginosas.

Tortas	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Co	Zn
	.....g kg <sup>-1</sup> .....					.....mg kg <sup>-1</sup> .....				
Torta Girassol	40,13	5,6	16,28	5,21	5,77	30,7	105,2	37,2	0,0	136,8
Torta Mamona	55,54	5,4	12,52	8,69	3,98	31,7	1845,5	101,5	0,6	177,3
Torta Pinhão manso	29,96	6,5	14,89	9,01	6,35	17,9	101,0	138,3	0,0	37,5

As sementes de crambe utilizadas foram da cultivar FMS Brilhante da Fundação MS. Em cada vaso, com capacidade de 5 litros, foram semeadas dez sementes e após serem desbastadas, duas plantas permaneceram no vaso.

As plantas foram coletadas após 70 dias do plantio, em pleno florescimento, sendo seccionadas em parte aérea e raiz. As raízes e a parte aérea, após serem lavadas com água destilada levou-se para estufa e deixadas a 65°C por 72 horas. Após a secagem das amostras, as mesmas foram pesadas, para obtenção da massa seca (parte aérea e raiz).

Após a secagem, os materiais vegetais moeu-se em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório Solo Planta do departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ para a determinação de P, K, Ca, Mg, pelo método de digestão nítrica. Para tanto, tomou-se 0,250g de tecido vegetal em tubo de teflon de 75ml, adicionando-se 9ml de HNO<sub>3</sub>, e após vedado, o tubo foi submetido a aquecimento por microondas. Após digerida, a amostra foi diluída à 50ml com água mili-Q®, os extratos foram submetidos à análise multielementar para determinação dos teores de Ca, Mg, em espectrômetro de absorção atômica de chama. Nesse mesmo extrato, foram determinados os teores de P por colorimetria do metavanadato, pela leitura em espectrofotômetro, e de K por fotometria de chama.

Para determinação de nitrogênio foi realizada digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio pelo método de Kjeldahl (Malavolta et al., 1997).

Logo após a coleta das plantas, retirou-se amostras de solo de cada vaso para análise de rotina de acordo com metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas aos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Foi usado o programa SAEG (SAEG, 2007).

## 7.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as tortas de oleaginosas e incubação do solo para a massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (Tabela 49).

**Tabela 49.** Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz do crambe em função da adubação das tortas de pinhão manso (TPM), girassol (TGir) e mamona (TMam) na cultura do crambe.

Variáveis	Incubação*	Tortas		
		TPM	TGir	Tmam
Parte aérea (g)	I	7,6 Aa	6,4 Ab	10,2 Aa
	NI	8,5 Aa	10,1 Aa	4,1 Bb
Peso Raiz (g)	I	1,0Ba	1,2Ba	1,5Aa
	NI	1,1Aa	1,0Aa	1,0Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> Não significativo; <sup>I</sup> Incubado, <sup>NI</sup> Não Incubado

Para massa seca da parte aérea, em solo incubado, não houve diferença entre as tortas, no solo não incubado com a presença da torta de mamona proporcionou o menor valor de massa seca da parte aérea com 4,1g. Já em relação a incubação, as tortas de pinhão manso e mamona em solo incubado proporcionaram maior incremento na massa seca da parte aérea. Já a torta de girassol, promoveu maior incremento da massa seca da parte aérea em solo não incubado, com o valor de 10,1g.

Alguns fatores podem ter influenciado nessa variação quanto ao ganho de massa seca da parte aérea. Maud et al. (2013) observaram que o ganho de massa seca da parte aérea do crambe atinge seu pico na fase de florescimento, onde começam a cair as folhas de forma acentuada, reduzindo esse ganho. Outro fator pode estar ligado à fertilidade do solo, a incubação do solo promoveu aumento da saturação por bases (V%) para 70% (Tabela 51). Esse valor de V% fica acima do considerado adequado para a cultura do crambe segundo Janegitz et al. (2010). Os autores encontraram redução no crescimento das plantas quando o V% esteve acima de 65.

A massa seca da raiz também apresentou interação entre os tratamentos aplicados, onde a torta de mamona em solo incubado foi responsável pelo maior ganho de massa seca da raiz, em solo não incubado, as tortas aplicadas não se diferenciaram para essa variável. Em relação a incubação, somente a torta de mamona apresentou diferença quanto a presença desse tratamento, sendo que em solo incubado o ganho de massa seca da raiz foi de 1,5g (Tabela 49).

Broch e Roscoe (2010) relatam que para um bom desenvolvimento radicular da cultura do crambe, é necessário que o solo esteja corrigido, com valores de pH adequados e ausência de alumínio, condições essas que foram mantidas no solo mesmo após a coleta das plantas no presente trabalho (Tabela 51). A torta de mamona promoveu o melhor resultado para massa seca da raiz (Tabela 49), os benefícios da torta de mamona como fonte de adubação são destacados em diversos trabalhos com outras culturas como girassol (Goes, 2010), gergelim (Santos et al., 2010), algodão (Silva et al., 2013), entre outras.

Houve interação nos teores de nutrientes na parte aérea e raiz do crambe em função da aplicação de tortas oleaginosas e incubação do solo, que são apresentados na Tabela 50.

**Tabela 50.** Média dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea e raiz do crambe em função da adubação de torta de pinhão manso (TPM), torta de girassol (TGir) e torta de mamona (TMam) num Planossolo Háplico.

Nutrientes (g kg <sup>-1</sup> )	Parte Aérea				Média
	Incubação*	TPM	Tortas TGir	TMam	
N	I	24,5Ba	27,1Ba	31,2Ab	-
	NI	25,0Ba	22,1Cb	40,2Aa	-
P	I	6,5Aa	4,5Bb	4,9Bb	-
	NI	6,1Aa	5,5Ba	5,4Ba	-
K	I	31,4Aa	27,7Ba	22,3Bb	-
	NI	34,4Aa	22,1Bb	27,3Ba	-
Ca	I	25,6	23,8	28,2	25,9a
	NI	17,6	19,7	22,5	19,9b
	Média	21,6A	21,8A	25,4A	
Mg	I	5,2	5,3	6,3	5,6a
	NI	3,6	4,6	5,3	4,5b
	Média	4,4B	5,0B	5,8A	
Nutrientes (g kg <sup>-1</sup> )	Raiz				Média
	Incubação	TPM	TGir	TMam	
N	I	5,04Cb	14,31Aa	10,52Bb	-
	NI	7,58Ba	8,04Ab	11,56Ba	-
P <sup>ns</sup>	I	5,13	5,37	5,47	-
	NI	4,56	5,22	4,61	-
K	I	13,64	16,81	21,78	17,41a
	NI	4,40	8,17	13,16	8,58b
	Média	9,0B	12,5B	17,5A	
Ca	I	4,22Ba	6,24Aa	5,63Aa	-
	NI	2,76Bb	2,47Bb	3,41Ab	-
Mg	I	0,94	1,13	1,13	1,07a
	NI	0,46	0,59	0,62	0,56b
	Média	0,7A	0,9A	0,9A	

Médias seguidas de mesma letra na maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup>Não significativo; <sup>I</sup>Incubado; <sup>NI</sup>Não Incubado

Observa-se que para os teores de N na parte aérea, a torta de mamona, seja em solo incubado ou solo não incubado, promoveu os maiores valores em relação a s demais tortas, e que quando se compara a incubação, a aplicação da torta de mamona em solo não incubado proporcionou o maior teor, com o valor de 40,2g kg<sup>-1</sup>.

Para os teores de N na raiz, o maior teor foi observado na aplicação de torta de girassol, em solo incubado, com o valor de 14,31g kg<sup>-1</sup>. Nos tratamentos com aplicação de torta de pinhão manso e torta de mamona, ocorreu o inverso, onde a aplicação no solo não incubado, os valores foram superiores, com os valores de 7,58 e 11,56g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

As maiores concentrações de N foram determinadas nas tortas de mamona e girassol, com os valores de 55,5 e 40,1g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 48). Pode-se inferir que, em função dos altos teores de N na composição dessas tortas, as mesmas proporcionaram maior disponibilidade de N para as plantas. De acordo com os autores Fravet et al. (2010); Lima et al. (2008); Severino et al. (2006) o potencial de uso de tortas de oleaginosas é grande, pelo fato delas apresentarem uma baixa relação C:N, o que pode acelerar a disponibilização dos nutrientes, principalmente do N. Ainda, estes materiais além de serem utilizados como fontes de nutrientes, se apresentam como condicionadores do solo, melhorando as suas características físicas e químicas.

O teores de P na parte aérea teve os maiores valores com a aplicação da torta de



pinhão manso, tanto em solo incubado como em solo não incubado, com os valores 6,5 e 6,1g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A torta de pinhão manso foi a que apresentou em sua caracterização química a maior concentração de P, com o valor de 6,5g kg<sup>-1</sup> (Tabela 48). Os teores de P na raiz, não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos aplicados, tendo seus valores médios apresentados na Tabela 50. Mauad et al (2013) e Queiroz Filho et al. (2012) relataram teores inferiores de P na parte aérea do crambe aos observados no presente trabalho. Pode-se inferir que, mesmo havendo diferença entre as tortas aplicadas, as mesmas disponibilizam uma quantidade de P adequadas para a cultura.

O teor de K na parte aérea apresentou interação entre os tratamentos aplicados (Tabela 50). A torta de pinhão manso proporcionou os maiores valores observados, tanto no solo incubado quanto no não incubado, com os valores de 31,4 e 34,4g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Nas raízes, o solo incubado proporcionou maior teor de K, com valor de 17,4g kg<sup>-1</sup>, entre as tortas, a torta de mamona foi responsável pelo maior teor de K observado, com 17,5g kg<sup>-1</sup>. Os valores observados no presente trabalho se encontram muito acima dos relatados por Mauad et al. (2013), que encontraram valores entre 2,9 e 5,8g kg<sup>-1</sup> na parte aérea do crambe, já Queiroz Filho et al. (2012) encontraram valores acima dos observados no presente trabalho, com valor médio de 31,2g kg<sup>-1</sup>, na parte aérea. Segundo esses autores, o valor mais elevado do teor de potássio pode ser característica da própria planta de crambe e precisa ser melhor investigado para ser confirmado. Corroborando com a resposta positiva quanto a adubação potássica, Santos et al. (2012) obtiveram um aumento linear na produtividade do crambe aplicando até 90kg ha<sup>-1</sup> de K.

Para os teores de Ca e Mg na parte aérea, a torta de mamona promoveu os maiores valores, 25,4 e 5,8g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em comparação a incubação do solo, o solo incubado proporcionou os maiores teores, sendo 25,9 e 5,6g kg<sup>-1</sup> para Ca e Mg, respectivamente (Tabela 50). Nas raízes, o teor de Ca apresentou interação, onde o solo incubado proporcionou os maiores valores e em relação a aplicação das tortas, a torta de girassol e torta de mamona, foram estatisticamente semelhantes, com os valores de 6,2 e 5,6g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o teor de Mg, não houve diferença entre as tortas e no solo incubado, foi observado o maior valor, 1,07g kg<sup>-1</sup> (Tabela 50). Soratto et al. (2013) em avaliação da produtividade e adubação do crambe, em solo com teores de Ca e Mg, respectivamente de, 4,7 e 2,6cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, ao aplicar doses de até 300kg ha<sup>-1</sup> de formulado N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (8:28:16) encontraram valores semelhantes aos teores de Ca e Mg observados no presente trabalho, novamente, a aplicação das tortas foram adequadas para o fornecimento de nutrientes para o crambe.

Em relação aos dados da análise de rotina do solo após a coleta das plantas, são apresentados na Tabela 51. Houve interação significativa dos teores disponíveis de Mg e da CTC potencial (T).

Com exceção da CTC potencial (T) e acidez potencial (H+Al), todas as demais variáveis apresentaram maiores valores em solo incubado. A incubação favorece, além da elevação do pH, a mineralização da matéria orgânica do solo (Souza e Lobato, 2004). Pode-se inferir que pela mineralização ocorrida, as tortas de oleaginosas favoreceram no aumento dos teores disponíveis de nutrientes no solo. Mesmo depois da coleta das plantas, os resultados apresentados na Tabela 51, demonstram que os teores disponíveis no solo ficaram dentro daqueles considerados como adequado para a cultura do crambe (Broch e Roscoe, 2010; Janegitz et al., 2010).

**Tabela 51.** Valores da análise de rotina do solo em função da adubação das tortas de pinhão manso (TPM), girassol (TGir) e mamona (TMam) na cultura do crambe.

Variáveis	Incubação*	Tortas			
		TPM	TGir	Tmam	Média
Na <sup>ns</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	0,0	0,0	0,0	-
	NI	0,0	0,0	0,0	-
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	1,8	1,8	1,8	1,8 a
	NI	1,2	1,2	1,3	1,2 b
	Média	1,5A	1,5A	1,6A	
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	1,4 Aa	1,4 Aa	1,4 Aa	-
	NI	1,6 Aa	1,1 Bb	1,1 Bb	-
K <sup>ns</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	0,1	0,1	0,1	-
	NI	0,1	0,1	0,1	-
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	1,1	1,3	1,4	1,3b
	NI	2,3	2,6	2,5	2,5a
	Média	1,7A	2,0A	2,0A	
Al <sup>ns</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	0,0	0,0	0,0	-
	NI	0,0	0,0	0,0	-
S (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	3,3	3,3	3,2	3,3 a
	NI	2,9	2,4	2,5	2,6 b
	Média	3,1 A	2,9 A	2,9 A	
T (cmolc dm <sup>-3</sup> )	I	4,4 Ab	4,6 Ab	4,6 Ab	-
	NI	5,2 Aa	5,0 Aa	5,0 Aa	-
V (%)	I	75	71	70	72 a
	NI	56	48	50	51 b
	Média	65,5A	59,5A	60,0A	-
pH	I	6,1	6,1	6,0	6,1 a
	NI	5,7	5,9	5,3	5,6 b
	Média	5,9 A	6,0 A	5,7 A	-
P (mg dm <sup>-3</sup> )	I	24,7	28,2	22,3	25,1a
	NI	21,9	28,2	22,0	24,0a
	Média	23,3 B	28,2 A	22,2 B	-

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> Não significativo; <sup>I</sup> Incubado; <sup>NI</sup> Não Incubado

Anjos et al., (2008) relatam sobre a importância do uso de tortas de oleaginosas como fonte de adubação e também como condicionadores do solo, propiciando melhores condições químicas e físicas do solo para o desenvolvimento das culturas. Lima et al. (2008) afirmam que a disposição in natura de tortas no solo, aumentam a solubilização de compostos orgânicos de baixo peso molecular, o que acarreta numa maior atividade, proporcionando maior mineralização e ciclagem dos nutrientes, o que aumenta a eficiência de absorção pelas plantas, diminuindo assim os custos de produção das culturas (Fravet et al. 2010).

O uso das tortas de oleaginosas como fontes de adubação para a cultura do crambe, nas condições do presente trabalho, demonstraram que é possível fornecer nutrientes nas quantidades adequadas para a cultura, com base nos dados de teores de nutrientes na parte aérea e raiz.

## 7.6 CONCLUSÕES

De acordo com os teores de nutrientes na arte aérea das plantas de crambe, foi observada a seguinte ordem:  $K > N \geq Ca > P > Mg$ . Para os teores nas raízes foi observada a seguinte ordem:  $K > N \geq Ca \geq P > Mg$ .

O uso das tortas de pinhão manso, torta de girassol e torta de mamona disponibilizaram nutrientes pra um bom desenvolvimento das plantas de crambe.

O crambe demonstrou uma maior exigência em K quando comparado aos demais nutrientes.

A aplicação de tortas de oleaginosas associada à calagem do solo aumenta os teores de nutrientes no solo em comparação ao solo não incubado.

## 8. CONCLUSÕES GERAIS

Diante do exposto nos capítulos anteriores, o pinhão manso apresentou-se como uma cultura exigente na sua nutrição mineral, com a seguinte ordem de acúmulo dos nutrientes: Mg>Ca>N>P>K para macronutrientes e Mn>Fe>Zn>Cu para micronutrientes. Na exportação de nutrientes pelos frutos de pinhão manso, as sementes apresentaram maior exportação para os nutrientes N, P, Cu e Zn, já as cascas apresentaram maior exportação de K, Ca, Mg, Mn e Fe.

Em relação à diagnose foliar para a avaliação do estado nutricional da cultura do pinhão manso, para as condições onde foram implantados os experimentos, ou seja, baixa altitude, solo com textura arenosa e clima Aw, de acordo com classificação Koppen, a folha na posição 3, contada a partir da parte apical do ramo, é a mais indicada para diagnose dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Cu, Zn e Fe. A folha na posição 7, contada a partir da parte apical do ramo, é a mais indicada para os diagnose dos nutrientes Mg e Mn. Para todas as folhas coletadas para verificação do estado nutricional é recomendado realizar as coletas em ramos com inflorescência.

Para correção do solo na cultura do pinhão manso, recomenda-se utilizar os métodos de elevação de saturação por bases até 75% e ou neutralização do alumínio. A utilização da gessagem também é recomendada quando o solo apresentar baixo teor de Ca e Mg em profundidade.

O pinhão manso demonstrou variabilidade entre diferentes acessos nas respostas quanto à tolerância ao alumínio, porém, todos foram afetados por esse elemento fitotóxico, reforçando ainda mais a recomendação quanto à correção da acidez do solo para a implantação da cultura.

Em relação à cultura do crambe, esta demonstrou que o uso de resíduos orgânicos na sua adubação, como tortas de oleaginosas, é suficiente para manter uma boa produtividade. Mais trabalhos devem ser realizados para validar a utilização dessas tortas e doses a serem aplicadas para a cultura nas condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODOI, A. R.; CARMO, C. A.; EDUARDO, J. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. R. Bras. Zootec. vol. 37 no. spe Viçosa. July 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008001300030>>. Acesso em: 29 ago. 2012. doi: 10.1590/s1516-35982008001300030.
- ABDELGADIR, H.A.; JOHNSON; S.D.; VAN STADEN, J. Approaches to improve seed production of *Jatropha curcas* L. South African Journal of Botany (April 2008), 74 (2), pg. 359-359.
- ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy. 32, p.1063–1084. 2008.
- ACHTEN, W. M. J.; NIELSEN, L. R.; AERTS, R.; LENGKEEK, A. G.; KJAER, E. D.; TRABUCCO, A.; HANSEN, J. K.; MAES, W. H.; GRAUDAL, L.; AKINNIFESI, F. K.; MUYS, B. 2010. Towards domestication of *Jatropha curcas*. Biofuels, 1(1):91-107. 2010.
- ACKOM, E. K.; ERTEL, J. An alternative energy approach to combating desertification and promotion of sustainable development in drought regions. In: FORUM DER FORSCHUNG, 18, 2005, Eigenverlag. Anais... Eigenverlag: BTU Cottbus, 2005, p. 74-78.
- AIR. *Crambe abyssinica*, a comprehensive program – Workshop – Part 4 – Utilization. Summary information. AIR3-CT94-2480, 1997. (<http://www.biomatnet.org/secure/Air/F709.htm>).
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999a. p.67-78.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CATARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999b. p.25-32.
- ALVES, J. M. A.; SOUSA, A.A.; SILVA, S. R. G.; LOPES, G. N.; SMIDERLE, O. J.; UCHÔA, S. C. P. Pinhão-mansinho uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia brasileira. Agro@mbiente On-line, vol.2, no. 1, jan/jun. Boa Vista, 2008.
- ALVES, M. A. B.; SERRA, J. C. V. Bases tecnológicas da obtenção de biodiesel. p.215-236. In: ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A. G.; GUERRA, S. M. G. (org.). Energia, economia, rotas tecnológicas. Textos selecionados. Málaga, Espanha: Eumed. Net, Universidad de Málaga, 2010. 330 p.: il. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2010/Artigos%20de%20Periodicos/Yolanda%20economia%20energia%20e%20rotas%20tecnologicas.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2014.
- AMABILE, R. F.; GUIMARÃES, D. P.; FARIAS NETO, A. L. Análise de crescimento de girassol em Latossolo com diferentes níveis de saturação por bases no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 2, p. 219-224, fev. 2003
- ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P.A.M.; CARVALHO, G.J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos

rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.31, n.1, p.59-63, jan./fev. 2007.

AQUINO, E. L.; SANTOS, A. R.; SOUZA, G. S.; SILVA, P. C. C. Plantas de amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) submetidas à diferentes doses de alumínio em solução nutritiva. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p.1698-1714. 2013.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2006. p.253-280.

ARAÚJO, L. G.; SOUSA, K. C. I. Pinhão manso para produção de biodiesel. *Revista Anhangüera*. v.9 n.1 jan./dez. p.95-119. 2008.

ARAÚJO, N. C.; Descrição: processo de cultivo do pinhão específico para o biodiesel e o processo de produção do pinhão em biodiesel. *Sistema Brasileiro de Respostas técnicas – SBRT, CETEC – Fundação Centro Tecnológica de Minas Gerais*, 2005.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido Nordeste. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, PB, v.8, n. 1, p. 789-799, jan-abril, 2004.

AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. O agronegócio da mamona do Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. 350p. il.

BATISTA, L. R. L. Características radiculares e fisiológicas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) propagado por semente e por estaca cultivados sob diferentes condições hídricas. 2012. 47f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas.

BECKER, K. & MAKKAR, H. P. S. Effect of phorbol esters in carp *Cyprinus carpio* L. *Vet. Hum. Toxicol.* v.40, p.82-86, 1998.

BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* under different agro-practices for optimizing biomass - a case study. *Biomass and bioenergy*. 34. p.30-41. 2010.

BELTRÁN, R.R.; SILVEIRA, R.I.; PASSOS, M.J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliadas por extratores químicos. *Sci. agric.* 1998, vol.55, n.2, p. 233-241. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90161998000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90161998000200011&script=sci_arttext)>.

BELTRÃO, N. E. M.; BRANDÃO, Z. N.; AMORIM NETO, M. S.; AMARAL, J. A. B.; ARAÚJO, A. E. Clima e Solo. In: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. *O agronegócio da mamona no Brasil*. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2007, p. 73 – 93.

BERNARDINO, D. C. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (BENTH.) BRENAN em resposta à saturação por bases do substrato. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.863-870, 2005.

BOHM, W. *Methods of studying root systems*. New York, Springer-Verlag, 1979. 194p.

BONATO, C. M.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; VENEGAS, V. H. A. Efeito do alumínio sobre a absorção, a partição e a utilização de enxofre em sorgo. *R. Bras. Fisiol. Veg.* 12(1),17-24, 2000.

BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C.; SOUSA, J. V. R.; LIMA, M. A.; ALMEIDA, E. R. Efeitos da saturação por bases no desenvolvimento inicial do pinhão manso em Latossolo

do Cerrado. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.13; 2011. p.469-478.

BRASIL – Anuário Estatístico da Agroenergia. 2 ed. Ano 2010. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/anuario\\_agroenergia/index.html](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia/index.html)>. Acesso em: 27 ago. 2012.

BRASIL, F. C.; ROSSIELLO, R. O. P.; PACIORNIK, S.; ABREU, J. B. R. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radical de *Brachiaria humidicola* Pasturas Tropicales, colômbia, v. 24, n. 3, p. 14-20, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico de agroenergia 2012: statistical yearbook of agrienergy / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilíngüe. – Brasília: MAPA/ACS, 2013. 284p.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Brasília, DF; 1985. 364p. (Brasil. Ministério da Indústria e Comércio. Documentos, 16.)

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: FUNDAÇÃO MS. Tecnologia e produção: crambe. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, 2010. V.1, p.22-36.

BRUCKNER, C. H. Maracujá: tecnologia de produção, pós colheita, agroindústria e mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. 472p.:il

CALABRESE, E. J. and BALDWIN, L. A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. TRENDS in Pharmacological Sciences. v.23 n.7, p.331-337. 2002.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. Ciência Rural, v.39, n.8, p.2394-2399, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000194>.

CASARINI, M.A.G. DA S.; HAAG, H.P.; SFREDO, G.J.; MINAMI, K. Absorção, concentração e exportação de nutrientes por duas linhagens de colza (*Brassica napus*) em função da idade. I – Macronutrientes. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz. vol.40, no.2, Piracicaba. 1983. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761983000200017>>. Acesso em: 27 ago.2012. doi: 10.1590/S0071-12761983000200017.

CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P.; ANACLETO, A. H. Avaliação de acessos de pinhão manso em sistema de agricultura familiar. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v.1, n.2, p.41-49. 2008.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 2, p. 167-176, abr-jun, 2010.

CHIVANDI, E.; ERLWANGER, K. H.; MAKUZA, S. M.; READ, J. S.; MTIMUNI, J. P. Effects of dietary *Jatropha curcas* meal on percent packed cell volume, serum glucose, cholesterol and triglyceride concentration and alpha-amylase activity of weaned fattening pigs. Research Journal of Animal and Veterinary Sciences, v.1, n.1, p.18-24, 2006.

CLAUSSEN, W.; LENS, F. Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants (*Solanum melongena* L.). Plant and Soil, Netherlands, v.171, p.267-274, 1995.

- CODOGNOTTO, L. M.; SANTOS, D. M. M.; LEITE, I. C.; MARIN, A.; MADALENO, L. L.; KOBORI, N. N.; BANZATTO, D. A. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. *Revista Ecosistema, Espírito Santo do Pinhal*, v. 27, n. 2, p. 27-39, 2002.
- CONTRAN, N.; CHESSA, L.; LUBINO, M.; BELLAVITE, D.; ROGGERO, P. P.; ENNE, G. State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: From sowing to biodiesel and by-products. *Industrial Crops and Products*. 42, p.202–215. 2013.
- DANGE, V.; SUTHAR, D.; REDDY, P.S. Biodiesel through *Jatropha curcas*: a critical analysis. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (eds.), *Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on Jatropha*, 9 – 10 June, New Delhi, India, 2006, p.31-36.
- DANTAS, A. C. M.; FORTES, G. R. L.; SILVA, J. B.; NEZI, A. N.; RODRIGUES, A. C. Tolerância ao alumínio em porta-enxertos somaclonais de macieira cultivados em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 36, n. 4, p. 615–623, 2001.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2006. p.327-354.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L) para produção de óleo combustível. Viçosa, MG: L. A. S. Dias, 2007. 40 p.
- DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R.; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B.; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. *Ciência Rural*, v.40, n.1 jan./fev. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009005000229&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009005000229&script=sci_arttext)>
- ECHART, C. L. e CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 31, n. 3, p.531-541, 2001.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Sistema de produção da mamona. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> acesso em: 14 set. 2011.
- EPSTEIN, E. e BLOOM, A. J. *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta. 2.ed. 403p. 2006.
- FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.
- FERNANDEZ, F. A.; BULL, L. T.; CORREA, J. C.; CRESPIAM, D. R. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 2009, v.33, n.4, p. 935-945. Disponível: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400018>>. Acesso em: 26 ago. 2012. doi: 10.1590/S0100-06832009000400018.
- FERRARI, A.C., PRATES, F. B. de S., GENÚNCIO, G.C., ZONTA, E., LIMA, E., DONAGEMMA, G.C., MARTINS, C.C. Acúmulo de micronutrientes em plantas de pinhão manso num planossolo de Seropédica-RJ. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia.



- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium (Lavras), v. 6, p. 36-41, 2008.
- FITTER, A. H. Characteristics and functions of root systems. In: EASEL, Y.; ESHEL, A., (Eds) Plant roots: the hidden half. New York, Marcel Dekker, p. 3-25, 1991.
- FONSECA, F. C.; BISPO, A. S.; VECHIATTO, W. W. D.; SILVA, P. R.; ZAGONEL, G. F.; DELFINO, L. D.; SUCHEK, E. M.; ADÃO, D.C.; COSTA, B. J. Estudo da viabilidade técnica da produção de biodiesel metílico a partir do óleo de pinhão manso e de gordura suína. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 2010. Disponível em: <[http://www.tecpar.br/cebio/menu/arq/Artigo\\_FernandaCristinaFonseca.pdf](http://www.tecpar.br/cebio/menu/arq/Artigo_FernandaCristinaFonseca.pdf)>. acesso em 16 mar. 2012.
- FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, Â. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. Ciênc. agrotec.. 2010, vol.34, n.3, pp. 618-624.
- 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.
- FREITAS, F. C. Uso de resíduo orgânico da produção de biodiesel direta da semente na atenuação dos efeitos dos hidrocarbonetos de petróleo no solo. 2009. 97 f. (Mestrado em Agronomia–Ciência do Solo) – Departamento de Solos, UFRRJ, Seropédica-RJ.
- FRIEDMAN, H. The mineral and gemstone kingdom: minerals A-Z: group serpentine. 1997-2013. Disponível em: <http://www.minerals.net>. Acesso em: 22 jan. 2013.
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.
- GANDHI, V. M.; CHERIAN, K. M. e MULKY, M. J. Toxicological Studies on Ratanjyot Oil. Fd Chem. Toxic., v.33, n.1, p.39-2, 1995.
- GERWITZ, A; PAGE, E. An empirical mathematical model to describe plant root systems. Journal of Applied Ecology, Oxford, v.11, p. 773-781, 1974.
- GINWAL, H. S.; RAWAT, P. S.; SRIVASTAVA, R. L. Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. in Central India. Silvae Genetica, v. 53, n. 4, p. 186-192, 2004.
- GÓES, G. B. Adubação do girassol com torta de mamona da produção de biodiesel direto da semente. 2010. 63f. (Dissertação mestrado). Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, MOSSORÓ, RN.
- GOHIL, R. H.; PANDYA, J. B. Genetic evaluation of *jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) genotypes. Journal of Agricultural Research, v. 47, n. 3, p. 221-228, 2009.
- GOMES, F. B.; MORAES, C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.
- GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; ROSA, R. J. M.; SANTOS, A. M.; SCALON, S. P. Q. Emergência de plântulas e crescimento inicial do pinhão manso exposto a alumínio. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 1, p.147-156. 2013.

GOUR, V.K. Production practices including post harvest management of *Jatropha curcas*. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Eds.), Biodiesel Conference Towards Energy Independence. Focus on *Jatropha*, New Delhi, India 9 – 10, 2006.

GÜBITZ, G. M.; Mittelbach, M.; Trabi, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Bioresource Technology, v.67, p.73-82, 1999.

GUIMARÃES, A. S. Crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L 1753.) em função de fontes e quantidades de fertilizantes. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, 2008. Disponível em <<http://www.cca.ufpb.br/ppga/pdf/doutorado/AndreiaGuimaraes-08.pdf>>. Acesso em: 6 mai. 2011.

GUSMÃO, C. A. G. Desempenho do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações NPK. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES.

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

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T.. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. Ciência Rural, 41:1549-1555, 2011.

HELLER J. Physic nut: *Jatropha curcas* L. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute; 1996.

HELLER, J. Physic nut (*Jatropha curcas* L.): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 1. Roma: IBPGR, 1996. 66p.

HERNANDES, A.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A.; ROMUALDO, L. M.; NATALE, W. Amostragem para diagnose do estado nutricional e avaliação da fertilidade do solo em caramboleiras. Bragantia. 2011, vol.70, n.3, pp. 657-663.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot., v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979.

JANDEL SCIENTIFIC. Tablecurve: curve fitting programa. Corte Madeira, CA: Jandel Scientific, 1991. 280 p.

JANEGITZ, M. C.; SOUZA-SCHLICK, G. D.; TROPALDI, L.; CARDOSO, S. M. Influência da saturação por bases no crescimento e produção de crame. Cultivando o Saber, v.3, n.4, p.175-182, 2010.

JORGE, L.A.C. Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS. Circular Técnica No1, Embrapa Instrumentação Agropecuária. Dezembro, 1996. 44p.

KNIGHTS, E.G. Crambe: A North Dakota case study. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication No. W02/005, Kingston, 2002. 25p. (<http://www.rirdc.gov.au>).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: UFU, ICAG, 2002. 23p. (Boletim técnico, 1). Disponível em:

<[http://www.ufmt.br/gemt/Diversos/Textos%20Diversos%20e%20Palestras/Textos%20Tecnicos/Boletim\\_Tecnico\\_Silicato.pdf](http://www.ufmt.br/gemt/Diversos/Textos%20Diversos%20e%20Palestras/Textos%20Tecnicos/Boletim_Tecnico_Silicato.pdf)>.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: UFU, ICAG, 2002. 23p. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício no solo, planta e fertilizante. Uberlândia, 2004. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico ; 02) 50f.

KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBSTEINER, M. Negative emissions from bioenergy use, carbon capture and sequestration (BecS): the case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural temperate forests. *Biomass and Bioenergy*, Ohio, v. 24, n. 4, p. 285-296, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.03.03>>. Acesso em: 26 ago. 2012. doi: 10.1016/j.bbr.2011.03.03.

KURIHARA, C. H.; KIKUTI, H.; TSUJIGUSHI, B. P.; REZENDE, W. E.; PELLIN, D. M. P.; FREITAS, L. A.; TROPALDI, L.; BOTTEGA, S. P. Marcha de Acúmulo de Matéria Seca e Nutrientes em Plantas de Pinhão-Manso, em Cassilândia, MS. In: Fertbio, 2012, Maceió/Al. Fertbio 2012 – A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola, 2011.

KURIHARA, C.H.; PELLIN, D.M.P.; FREITAS, L.A. Acúmulo de matéria seca e crescimento de pinhão-manso em Latossolo Vermelho Distroférico típico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

LANA, M. C.; STEINER, F.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F.; ZOZ, T. Tolerância de plântulas de pinhão-manso a toxicidade de alumínio em solução nutritiva. i: desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *Synergismus scyentifica UTFPR*, Pato Branco, 04 (1). 2009.

LANA, M. C.; STEINER, F.; ZOZ, T.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F. Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 29, n. 3, p.582-589. 2013.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhao manso na fase jovem. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 371-379, 2011.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 5, oct. 2008 .

LAVIOLA, B. G.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L.; KOBAYASHI, A. K.; RESENDE, M. D. V. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v.45, n.10, p.1117-1123. 2010.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; SALOMÃO, L.C.C. & CRUZ, C.D. Acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiros em viçosa-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia, 2007. Anais... Águas de Lindóia, 2007. CD-ROM.

LAVRES JÚNIOR, J.; BOARETTO, R.M.; SILVA, M.L. de S.; CORREIA, D.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.145-151, 2005.

LÉLES, É. P.; FERNANDES, D. M.; SILVA, J. I. C.; FUMES, L. A. A. Interação de doses de calcário e zinco nas características morfológicas e nos componentes de produção da mamoneira. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, v. 32, n. 3, p. 501-509, 2010.

- LIMA FILHO, O. F. História e uso do silicato de sódio na agricultura. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112p. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=LV&num=10&ano=2009>>.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M.; SAMPAIO, L. R. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.21 n.5 (Número Especial), p.102-106, dezembro de 2008.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-manso entre estádios fenológicos. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.11, p.1175–1179, 2011a.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão-manso. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.10, p.1068–1072, 2011b.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15-21, 2007.
- LÜTTGE, U. Stem CAM in arborescent succulents. Trees, 22:139–148. 2008.
- MACEDO, F. L.; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A.; BARRETO, M. C. V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 1, p.157-164. 2011.
- MAES, W. H.; TRABUCCO, A.; ACHTENA, W. M. J.; MUYYA, B. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. Biomass and Bioenergy. 33, p.1481–1485. 2009.
- MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; PAULINO, M. A. O.; SILVEIRA, H. R. O.; FERNANDES, L. A. Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento do pinhão-manso. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 174-179, 2011.
- MAKKAR, H. P. S. e BECKER, K. Nutritional studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. Plant Foods for Human Nutrition, v.53, p.183-192, 1999.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 2.ed., 319p. 1997.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic, 2002. 889p.
- MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. Journal of the American Society of Sugarcane Technologists, v.22, p.21-30, 2002.
- MATTIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MEIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 425–434, 2008.

- MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, R. M. M. F.; GARBIATE, M. V.; COELHO, L. C. F. MATÉRIA seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de Crambe. *Cienc. Rural*, Maio 2013, vol.43, n.5, p.771-778.
- MELLO, D.; COUTO, E. G.; SCARAMUZZA, J. F.; PEREIRA, W. L. M.; SABINO, M. H. C.; SOUZA, L. J. Produção de massa seca de *Brachiaria brizantha* e *Andropogon gayanus*, sob diferentes processos de preparo do solo. Disponível em: <http://www.ufmt.br/agtrop/revista7/doc/07.htm>. Acesso em: 01 mar. 2011.
- MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. Uso Potencial e Toxidez da Torta de Pinhão-manso. Comunicado Técnico 01. Embrapa. Brasília, DF. p.8. 2009.
- MIGUEL, P. S. B.; GOMES, M. F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A. de; OLIVEIRA, A. V. de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *Centro de Ensino Superior Revista v. 24. Juiz de Fora*, 2010.
- MIRAGAYA, J.C.G. Biodiesel: Tendências no mundo e no Brasil, Informe agropecuário, Belo Horizonte , v. 26 , n. 229 , p. 7– 13 , 2005.
- MOSSOR-PIETRASZEWSKA, T. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochimica Polonica*, v.48, p.673-686, 2001. Disponível em: <[http://www.actabp.pl/pdf/3\\_2001/673-686.pdf](http://www.actabp.pl/pdf/3_2001/673-686.pdf)>
- NAING, K. W.; ANGELES, D. E.; PROTACIO, C. M., CRUZ, P. C. S. Tolerance of mango (*Mangifera indica* L. Anacardiaceae) seedlings to different levels of aluminum. *Philippine Journal of Crop Science, College*, v. 9, n. 3, p. 33–42, 2009.
- NASCIMENTO, A. H. C.; QUEIROZ, A. P.; LIMA, S. O.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, H. O., OLIVEIRA, A. L. Desenvolvimento da mamoneira com diferentes níveis de calagem em um Latossolo Vermelho-Amarelo compactado - *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Recife – PE, v.5, n.2, p.163-169, abr.-jun., 2010. DOI 10.5039/agraria.v5i2a489
- NASCIMENTO, W. A.; PEREIRA, K. S.; SANTOS, P. L. S.; SANTOS, C. H. B. Efeito de diferentes concentrações de alumínio no desenvolvimento inicial de plantas de girassol. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p.748-756. 2012.
- NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; NETO, J. D.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009.
- NEVES, M.B. TRZECIAK, M. B.; VINHOLES, P. S.; TILLMANN, C. A. C.; VILLELA, F. A. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidas em Mato Grosso do Sul. Disponível em: [http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia\\_2007/Agroener/trabalhos/Outras%20culturas\\_11\\_OK/Neves\\_1.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia_2007/Agroener/trabalhos/Outras%20culturas_11_OK/Neves_1.pdf). Acesso em: 1 mar. 2011.
- NICOULLAUD, B.; KING, D.; TARDIEU, F. Vertical distribution of maize roots in relation to permanent soil characteristics. *Plant and Soil*, 159: 245-254, 1994.
- NOVAIS, R.F.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F. C. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- OLHAND, T. Efeito de densidades do solo e doses de calcário no desenvolvimento inicial do pinhão manso. 70p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Agronomia da

Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, PR. 2012.

OLIVEIRA, L. A.; Souza, J. M. P F; Lopes, G.E.M; Rego Filho, Luiz. M; Ferreira, J. M; Cavalcanti, E. Avaliação de Oleaginosas no Estado do Rio de Janeiro Resultados Estação Outono-Inverno/2005. In: Anais do I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel Vol 1, p155-160, 2005.

OLIVEIRA, M.R.G.; VAN NOORDWIJK, M.; GAZE, S.R.; BROUWER, G.; BONA, S.; MOSCA, G. HAIRIAH, K. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) Root methods: a handbook. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.176-206, 2000.

OPLINGER, E. S.; OELKE, E. A.; KAMINSKI, A. R.; PUTNAM, D. H.; TEYNOR, T. M.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. Crambe: alternative field crops manual. St. Paul: University of Minnesota, 1991. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>>.

PACHECO, D. D.; SATURNINO, H. M.; MENDES, L. D.; SOARES, F. R.; MENDES, T. O. P.; PRATES, F. B. S.; SOUZA, L. C. A. Produção de massa vegetal e composição mineral de plantas de pinhão-manso. In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel - "Biodiesel: Evolução Tecnológica e Qualidade", Varginha, – Lavras: UFLA, p.624-627. 2006.

PANT, K.S.; KHOSLA, V.; KUMAR, D.; GAIROLA, S. Seed oil content variation in *Jatropha curcas* Linn. in different altitudinal ranges and site conditions in H.P. India. Lyonia, Volume 11(2), Pages [31-34], December 2006.

PEIXOTO, A. R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel, 1973. 282 p.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.13; p.51-76. 2011.

PEIXOTO, P. H. P.; PIMENTA, D. S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. Bragantia, Campinas, v. 66, n.1, p.17-25, 2007.

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

PITOL, C. Crambe: uma nova opção para produção de biodiesel. Maracajú, Fundação MS, 2008. Disponível em: <<http://www.fundacaoms.com.br>>. Acesso em: janeiro de 2008.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Tecnologia e Produção: Crambe. Maracaju:Fundação MS, 2010. 60p.

PRATES, F. B. de S.; FERRARI, A.C.; GENÚNCIO, G.C.; ZONTA, E.; LIMA, E.; DONAGEMMA, G.C. Acúmulo de macronutrientes em plantas de pinhão manso num planossolo de Seropédica-RJ. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. XXXIII CBCS - Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas., 2011.

- PRATES, F. B. S. Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias-Agroecologia) - Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Montes Claros-MG. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=176498](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=176498)>.
- PRATES, F. B. S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; SATURNINO, H. M. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Caatinga (UFERSA. Impresso)*. v.24, p.101 - 112, 2011.
- QUEIROZ FILHO, L. P.; ALVES, J. M.; FERREIRA, H. S.; FIALHO, L. C. Calagem e adubação com NPK e avaliação do teor dos nutrientes na parte aérea de crambe. Congresso de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Rio Verde do IFGoiano. p.1-3. 2012.
- RAIJ, B. VAN. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes. IPNI, Brasil, 420p. 2011.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R. SHANKE, A. K. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. *Trees*, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG: 1999. 356p.
- ROSSIELO, 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.
- SAEG. SAEG: sistema para análises estatísticas, versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007.
- SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:787-796, 2000.
- SANTOS NETO, J. A. Biomassa e nutrientes em pinhão-manso e sistema de adubação com base no balanço nutricional. 2011. 63f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa – UFV.
- SANTOS, C. H.; GRASSI FILHO, H.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z. Níveis de alumínio e o desenvolvimento de porta-enxertos cítricos em cultivo hidropônico: I parâmetros biométricos. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 4, p. 921–932, 1999.
- SANTOS, C. M.; ENDRES, L.; WANDERLEY FILHO, H. C. L.; ROLIM, E. V.; FERREIRA, V. M. Fenologia e crescimento do pinhão-manso cultivado na zona da mata do estado de Alagoas, Brasil. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.11, n.3, p.201-209, May/Jun. 2010.
- SANTOS, J. I.; RÓGERIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; SILVA, T. B.; BARBOSA, M. C. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. *Biosci. J., Uberlândia*, v.28, n.3, p.346-350. 2012.
- SANTOS, M. S.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M., BARROS, H. M. M., SAMPAIO, M. V; MARTINS, E. S. C. S. Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v.4, n.1, p.31-35.

2010.

SANTOS, R. F. dos.; KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO N. E. M. O agronegócio da mamona no Brasil. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.23-41. 2007.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SARIN, R.; SHARMA, M.; SINHARAY, S.; MALHOTRA, R.K. Jatropha–Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. **Fuel**. Volume 86, Issues 10–11, July–August 2007, Pages 1365-1371.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: Informe Agropecuário, Belo Horizonte: EPAMIG, v.26, n.229, p.44-73, 2005.

SAVY FILHO, A. Mamona: tecnologia agrícola. Campinas: Emopi, 2005. 105p.

SCHUURMAM, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. Methods for the examination of root systems and roots, 2 nd. Edn. Centre for Agricultural publishing and documentation, Wageningen, The Netherlands. 1991.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M.; LUCENA, A. M. A. de; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 5, n. 1, 2004.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A. GODIN, T. M. S.; CARDOSO, G. D.; VIRIATO, J. R. & BELTRÃO, N. E. M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília, v.14, n.5 p.879-882, 2006.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; LEÃO, A. B.; BELTRÃO, N. E. M. Formação do Sistema Radicular de Plantas de Pinhão Manso Propagadas por Mudas, Estacas e Sementes. EMBRAPA, Comunicado Técnico, 348. Campina Grande, PB. Nov. 2007. 5p.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L.S.; LUCENA, A. M. A. FREIRE, M. A. O.; SAMPAIO, L. R.; VERAS, R. P.; MEDEIROS, K. A. A. L.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Propagation by stem cuttings and root system structure of *Jatropha curcas*. Biomass and Bioenergy, 35, p.3160-3166, 2011.

SEVERINO, L.S.; SANTOS, F. D. S.; FERREIRA, G. B.; SAMPAIO, L. R.; FREIRE, M. A. O.; SILVA, D. M. A.; SOFIATTI, V. Descrição dos Sintomas Visuais de Deficiência de Macronutrientes e Boro na mamoneira. Campina Grande: EMBRAPA, 2009. 8p. (Circular Técnica 125).

SHANNON, C.E. "Communication in the presence of noise," Proc. Institute of Radio Engineers, vol. 37, n.1, p.10-21. 1949.

SHARMA, N. The *Jatropha* experience: Andhra Pradesh. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (eds.), Biodiesel Conference Towards Energy Independence. Focus on *Jatropha*, 9 – 10 June, New Delhi, India, p.9-15. 2006.

SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; CURY, J. P.; SOUZA, P. T.; FREIRE, A. J. Calagem para pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Belo Horizonte, MG. 2p. 2010.



- SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JR., P. S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n.4, p. 392-397, 2009.
- SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; SOUZA, P. T.; GRAZZIOTTI, P. H.; SILVA, A. C. Crescimento de pinhão manso em Neossolo Quartzarênico usando a técnica do nutriente faltante. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas (Impresso)*, v. 14, p. 73-81, 2010.
- SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A. DE; SILVA, V. N. B.; SOFIATTI, V.; PEREIRA, T. L. P. Torta de mamona residual e irrigação com efluente sobre crescimento e produção de algodoeiro herbáceo. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol.17 no.12. 2013.
- SINGH, B.; SINGH, K.; RAO, G. R.; CHIKARA, J.; KUMAR, D.; MISHRA, D. K.; SAIKIA, S. P.; PATHRE, U. V.; RAGHUVANSHI, N.; RAHI, T. S.; TULI, R. Agrotechnology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. *Biomass and Bioenergy*. 48. p.192-202. 2013.
- SINGH, B.; SWAMINATHAN, M. G. R.; PONRAJ, V. Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on *Jatropha*. Ed. Rashtrapati Bhawan, New Delhi, 382 p., 2006.
- SORATTO, R. P.; SOUZA-SCHLICK, G. D.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:658-666, 2013.
- SOUSA, D. M.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo forrageiro e crambe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, n.10, p.1328-1335, out. 2009.
- SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). *Fertilizada do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- SOUZA, P. T.; SILVA, E. B.; GRAZZIOTTI, P. H.; FERNANDES, L. A. NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in Quartzarenic Neossol. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. v.35, n.2, p. 559-566, 2011.
- SOUZA, S. R E FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M S. (Ed.) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.
- SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.8, p.1752-1758, ago, 2010.
- STAFANATO, J.B. Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*). 2009, 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo. Departamento de Agronomia. UFRRJ, Seropédica-RJ).
- STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A. S.; CASTAGNARA, D. D.; DRANSKI, J. A. L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1779–1788, 2012.
- STOLF, E. C.; DANTAS, A. C. M.; BONETI, J. I.; COMIN, J. J.; NODARI, R. O. Estabelecimento de critérios para selecionar porta-enxertos de macieira tolerantes ao alumínio

em solução nutritiva. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 476–471, 2008.

SUJATHA, M.; REDDY, T.P.; MAHASI, M.J. Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. Biotechnology Advances, v.26, p.424-435, 2008.

SUNIL, N.; VARAPRASAD, K.S.; SIVARAJ, N.; KUMAR, T. S.; ABRAHAM, B.; PRASAD, R.B.N. Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm *in-situ* – A case study, Biomass and Bioenergy, Volume 32, Issue 3, March 2008, p.198-202.

TABALDI, L. A.; NICOLOSO, F. T.; CASTRO, G. Y.; CARNEGLUTTI, D.; GONÇALVES, J. F.; RAUBER, R.; SKREBSKY, E. C.; SCHETINGER, M. R. C.; MORSCH, V. M.; BISOGNIN, D. A. Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. Brazilian Journal of Plant Physiology, Londrina, v. 19, n. 3, p. 211-222, 2007.

TANURE, L. P. P. Avaliação das limitações nutricionais em mudas de pinhão manso cultivadas em casa de vegetação. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2009. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp107341.pdf>>

TECCHIO, M. A.; PIRES, E. J. P.; TERRA, M. M.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J. C.; VIEIRA, C. R. Y. I. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. Revista Ceres, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 243–250, 2006.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª Edição. Porto Alegre: Departamento de Solos. UFRGS. 174p. 1995. (Boletim Técnico, 5)

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. Informe Agropecuário, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; SANTOS, D. H. Efeito da calagem e adubação potássica no crescimento e nutrição da cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). Colloquium Agrariae, v. 6, n.2, Jul-Dez. 2010, p. 27-32. DOI: 10.5747/ca.2010.v06.n2.a055

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2007, vol.31, n.1, pp. 63-72.

VAN NOORDWIJK, M. Roots: length, biomass, production and mortality. In: ANDERSON, J. M. AND INGRAM, J. S. I.1993. Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of methods. CAB International, Wallingford. p. 132-144, 1993.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. Efeitos do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. Sci. Agric., Piracicaba, 52(2): 368-375. 1995.

VERAS; R. P.; LAIME, E. M. O.; FERNANDES, P. D.; SOARES, F. A. L.; FREIRE, E. A. Altura de planta, diâmetro caulinar e produção do pinhão-manso irrigado sob diferentes níveis de salinidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB v.15, n.6, p.582–587, 2011.

VIÉGAS, I.J.M.; THOMAZ, M.A.A.; SILVA, J.F.; CONCEIÇÃO, H.E.O.; NAIFF, A.P.M. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências

nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 2, p. 315-319, 2004.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2006. p.299-325.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.* v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; LIMA, N. N.; FERNANDES, L. A. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Caatinga (Online)*, v. 24, p. 157-163, 2011.