

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**CRESCIMENTO E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO
DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha
curcas* L.) EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO**

LEANDRO HENRIQUE DE SOUSA MOTA

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2013

**CRESCIMENTO E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE
PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO**

LEANDRO HENRIQUE DE SOUSA MOTA
Engenheiro Agrônomo
Biólogo

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Silvana de Paula Quintão Scalon

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da UFGD, Dourados, MS, Brasil

M917c Mota, Leandro Henrique de Sousa.

Crescimento e comportamento fisiológico de procedências de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio / Leandro Henrique de Sousa Mota. – Dourados, MS : UFGD, 2013.

93 f.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana de Paula Quintão Scalon.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Pinhão-manso. 2. Alumínio no solo. I. Scalon, Silvana de Paula Quintão. Título.

CDD: 633.85

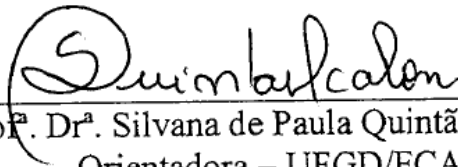
**CRESCIMENTO E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE
PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO**

Por

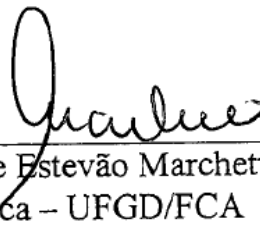
LEANDRO HENRIQUE DE SOUSA MOTA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM AGRONOMIA.

Aprovado em: 04/03/2013



Prof.^a Dr.^a Silvana de Paula Quintão Scalon
Orientadora – UFGD/FCA



Prof.^a Dr.^a Marlene Estevão Marchetti
Membro da Banca – UFGD/FCA



Prof. Dr. Etenaldo Felipe Santiago
Membro da Banca – UEMS

Dedico

A Deus,

pela vida e sabedoria.

Aos meus pais Maria do Socorro e Moacir,

pelo amor e incentivo.

A minha irmã Lígia, aos familiares e amigos,

pela amizade e apoio.

“Para se ter as respostas, só é possível mergulhando em uma pesquisa trabalhosa e detalhada. Aliás, bons trabalhos de pesquisa sempre dão trabalho. Só que rendem mais satisfação quando eles ficam prontos e conseguem responder perguntas que ainda nem tinham sido formuladas.”

*Sérgio Xavier Filho
(Adaptado)*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos e conceder forças para lutar por meus objetivos.

À Universidade Federal da Grande Dourados e em especial a Faculdade de Ciências Agrárias pela oportunidade de realização do curso de graduação e mestrado.

À Prof^a. Dr^a. Silvana de Paula Quintão Scalon pela orientação e todos os ensinamentos ao longo desses seis anos, sendo um exemplo a ser seguido por toda sua competência e profissionalismo. Agradeço por toda a amizade, paciência e confiança.

À Prof^a. Dr^a. Marlene Estevão Marchetti pela co-orientação e participação na banca examinadora, contribuindo com suas valiosas correções e sugestões.

Ao Prof. Dr. Etenaldo Felipe Santiago pela participação na banca examinadora e contribuição com suas valiosas correções e sugestões.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal que contribuíram para o meu aperfeiçoamento profissional e apoio na realização do trabalho.

Ao pesquisador na Embrapa Agropecuária Oeste Dr. Cesar José da Silva, por fornecer as sementes para realização deste trabalho e pelas valiosas sugestões.

Aos amigos Allan Correia, Antonio Viegas, Marcos Garbiate e Rafael Heinz pela enorme contribuição na execução do experimento, e acima de tudo pela amizade.

Aos colegas do Núcleo de Estudos em Sementes e Mudas – NESEM, em especial a Carla Gordin e Daiane Mugnol pela amizade e contribuição.

Aos funcionários da Universidade Federal da Grande Dourados, Sr. Jesus, João, Laura e Elda pela colaboração e amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa concedida que possibilitou o sustento financeiro necessário para realização deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a execução deste trabalho e minha formação, o meu reconhecimento e gratidão.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL.....	xiii
GENERAL ABSTRACT.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO I – EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO	18
RESUMO.....	188
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO II – TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i> E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO.....	52
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
INTRODUÇÃO	54
MATERIAL E MÉTODOS.....	56
RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CONCLUSÕES GERAIS.....	87
ANEXOS	88

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I	PÁGINA
QUADRO 1. Composição do calcário "filler" utilizado no experimento.	23
QUADRO 2. Valores referentes à análise química e granulométrica do solo inicial (A1 1) e após a correção visando uma saturação de bases de 33,3 (A1 2), 56,6 (A1 3) e 80% (A1 4).....	24
QUADRO 3. Nutrientes, concentrações requeridas, fontes e quantidades das mesmas, utilizadas na adubação básica do solo em experimento realizado em estufa	25
CAPÍTULO II	
QUADRO 1. Composição do calcário "filler" utilizado no experimento.	57
QUADRO 2. Valores referentes à análise química e granulométrica do solo inicial (A1 1) e após a correção visando uma saturação de bases de 33,3 (A1 2), 56,6 (A1 3) e 80% (A1 4).....	58
QUADRO 3. Nutrientes, concentrações requeridas, fontes e quantidades das mesmas, utilizadas na adubação básica do solo em experimento realizado em estufa	59

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	PÁGINA
FIGURA 1. Altura (A-B) e diâmetro do coleto (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.	30
FIGURA 2. Comprimento de raiz (A-B) e volume de raiz (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.	32
FIGURA 3. Razão altura/diâmetro (A-B) e razão raiz/parte aérea (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.	33
FIGURA 4. Número de folhas nas plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.	34
FIGURA 5. Área foliar das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.	35
FIGURA 6. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.	37
FIGURA 7. Massa seca de caule (MSC) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.	38
FIGURA 8. Massa seca de raiz (MSR) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.	39
FIGURA 9. Massa seca total (MST) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.	40

FIGURA 10. Razão massa seca da parte aérea/massa seca das raízes (RPAR) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.....	42
FIGURA 11. Razão massa seca das folhas/massa seca total (A-B) e razão da área foliar/massa seca das folhas (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.....	43
FIGURA 12. Razão aérea foliar/massa seca total (RAF) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.....	45

CAPÍTULO II

FIGURA 1. Dados climáticos mínimos, médios e máximos da temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) na estufa durante o período do experimento. Dourados, UFGD, 2012.....	56
FIGURA 2. Fluorescência inicial (F_o) das plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.....	63
FIGURA 3. Fluorescência variável (A-B) e fluorescência máxima (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.....	65
FIGURA 4. Eficiência quântica potencial do FS II – F_v/F_m (A-B) e razão F_v/F_o (C-D) de plantas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.	66
FIGURA 5. Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> aos 100 dias após a emergência das plântulas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) em função dos diferentes níveis de alumínio no solo (B). Dourados, UFGD, 2012.	68
FIGURA 6. Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> aos 100 dias após a emergência de plântulas de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) das diferentes procedências nos níveis de 0,0 (A), 8,2 (B), 16,5 (C) e 24,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de alumínio no solo (D). Dourados, UFGD, 2012.....	69

- FIGURA 7. Clorofila (A-B) e taxa fotossintética – A (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.71
- FIGURA 8. Transpiração – E (A-B) e condutância estomática – Gs (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.73
- FIGURA 9. Eficiência intrínseca do uso da água – A/Gs de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.75
- FIGURA 10. Concentração interna de CO₂ (A-B) e eficiência instantânea de carboxilação (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.76
- FIGURA 11. Atividade das enzimas peroxidase (A) e superóxido dismutase (B) nas folhas das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012.78
- FIGURA 12. Atividade das enzimas catalase (A), peroxidase (B) e superóxido dismutase (C) nas raízes das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012. .79

LISTA DE ANEXOS

PÁGINA

- ANEXO 1. Resumo da análise de variância para porcentagem de emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Dourados, UFGD, 2012.88
- ANEXO 2. Características de deficiência nutricional observado nas folhas do terço superior das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). nos níveis superiores a $16,5 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012.....89
- ANEXO 3. Resumo da análise de variância para altura de planta (A), diâmetro de coleto (D), comprimento de raiz (Craiz), volume de raiz (Vraiz), razão altura/diâmetro (RAD), razão raiz/parte aérea (Raiz/PA), número de folhas (Nfolha), área foliar (Afoliar), massa seca de folhas (MSfolha), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSraiz) e massa seca total (MStotal) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.....90
- ANEXO 4. Resumo da análise de variância para razão da parte aérea e raiz (RPAR), razão de peso de folha (RPF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.....91
- ANEXO 5. Resumo da análise de variância para índice de clorofila (IC), taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso de água (A/Gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.....92

ANEXO 6. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (Fo), fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima (Fm), eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e razão Fv/Fo em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.	93
ANEXO 7. Resumo da análise de variância para atividade das enzimas catalase (Cat), peroxidase (Per) e superóxido dismutase (Sod) nas folhas (F) e raiz (R) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e procedências de sementes de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.). Dourados, UFGD, 2012.....	94

CRESCIMENTO E COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO

Autor: Leandro Henrique de Sousa Mota

Orientadora: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

RESUMO GERAL

A toxidez do Alumínio (Al) é considerada um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola em várias regiões do planeta. Diante da carência de informações sobre a tolerância do pinhão-manso ao alumínio, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e comportamento fisiológico de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio. O experimento foi desenvolvido em estufa na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), durante o período de Janeiro a Abril de 2012. A unidade experimental foi constituída de vasos com capacidade de 5,0 dm³ de solo e o substrato utilizado foi solo coletado na profundidade de 80 a 100 cm. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo que para as avaliações de crescimento, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* o delineamento de tratamentos usado foi em esquema de parcelas subdivididas, na qual as parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de alumínio no solo (0,0, 8,2, 16,5 e 24,0 mmol_c dm⁻³), as subparcelas corresponderam as quatro procedências das sementes de pinhão-manso (P1 = Dourados-MS; P2= Montes Claros-MG; P3= Alta Floresta-MT; P4= Petrolina-PE), e as subsubparcelas consistiram nas 4 épocas de avaliação (25, 50, 75 e 100 dias após a emergência). Já para avaliação da emergência, curva OJIP da fluorescência da clorofila *a* e atividade enzimática os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, referentes aos quatro níveis de alumínio no solo e as quatro procedências de pinhão-manso. Os diferentes níveis de alumínio foram obtidos a partir da correção do solo inicial, que apresentava uma concentração de alumínio de 24,0 mmol_c dm⁻³. Os níveis de alumínio avaliados não tiveram efeito significativo sobre a emergência das plântulas independente da procedência. O aumento dos níveis de alumínio no solo reduziu o crescimento e o acúmulo de massa seca das procedências P1-Dourados, P2-Montes Claros e P3-Alta Floresta. As trocas gasosas foram afetadas negativamente pelo alumínio e as respostas da fluorescência da clorofila indicam efeito danoso do alumínio, sendo que através do teste OJIP pode-se verificar redução da eficiência fotoquímica. A atividade das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase foram superiores na presença do alumínio para as procedências P3-Alta Floresta e P4-Petrolina, no qual este resultado somado às respostas obtidas para o crescimento e demais características fisiológicas indicam menor sensibilidade destes genótipos às condições de estresse de alumínio.

Palavras chave: toxidez de alumínio, fotossíntese, fluorescência da clorofila *a* e atividade enzimática

GROWTH AND BEHAVIOR PHYSIOLOGICAL OF PROVENANCES OF PHYSIC-NUT (*Jatropha curcas* L.) AT DIFFERENT LEVELS OF ALUMINIUM

Author: Leandro Henrique de Sousa Mota

Adviser: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

GENERAL ABSTRACT

The toxicity of aluminum (Al) is considered one of the main factors limiting agricultural productivity in various regions of the planet. Considering the lack of information on the tolerance of physic nut to aluminum, the present study aimed to evaluate the growth and physiological behavior of provenances of physic nut (*Jatropha curcas* L.) at different levels of aluminum. The experiment was conducted in a greenhouse in the Faculty of Agrarian Sciences (FCA) University Federal of Grande Dourados (UFGD) during the period January to April 2012. The experimental unit consisted of vase with a capacity of 5.0 dm³ of soil, which was used as substrate soil collected at a depth of 80 to 100 cm. The treatments were arranged in a completely randomized (DIC), and for evaluations of growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence a delineation of treatments were used in split-plot design in which the treatments in plot were four levels of aluminum (0.0, 8.2, 16.5 and 24.0 mmol dm⁻³), the subplots consisted of four provenances of physic nut seeds (P1 = Dourados-MS; P2 = Montes Claros-MG; P3 = Alta Floresta - MT; P4 = Petrolina-PE), and the subsubplots consisted in the 4 times (25, 50, 75 and 100 days after emergence). As for evaluations of emergency, OJIP curve of chlorophyll fluorescence *a* and enzyme activity treatments were arranged in a 4 x 4 factorial, referring to the four levels of aluminum in the soil and the four provenances of physic nut seeds. The different levels of aluminum were obtained from the initial soil amendment, which had an aluminum concentration of 24.0 mmol dm⁻³. The aluminum levels evaluated had no significant effect on seedling emergence of independent provenances. The increased levels of aluminum in the soil reduced the growth and dry matter accumulation of provenances P1-Dourados, P2-Montes Claros and P3-Alta Floresta. The gas exchange were negatively affected by aluminum and chlorophyll fluorescence *a* indicate the detrimental effect of aluminum, and through the curve OJIP can verify reduction photochemical efficiency. The activity of enzymes catalase, peroxidase and superoxide dismutase were higher in the presence of aluminum for the provenances P3-Alta Floresta and P4-Petrolina, in which this result added to the responses to growth and other physiological characteristics indicate less sensitive of these genotypes conditions of aluminum stress.

Keywords: aluminum toxicity, photosynthesis, chlorophyll fluorescence *a* and enzyme activity

INTRODUÇÃO GERAL

Diante da necessidade da substituição dos combustíveis fósseis, a preocupação com a preservação do meio ambiente e com a produção de alimentos, torna-se necessário o desenvolvimento de novas fontes de energia. Neste contexto, o pinhão-manso surge como uma cultura potencial para o atendimento ao programa nacional de produção de biodiesel, por não ser uma espécie alimentar, ter bom rendimento de óleo e ter o manejo compatível ao perfil da agricultura familiar (LAVIOLA, 2011).

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta pertencente à família das Euforbiáceas, assim como a mamona e a mandioca. A espécie apresenta crescimento arbustivo, rústico e pode chegar até quatro metros de altura (VANZOLINI et al., 2010). Por ser uma cultura adaptada às mais diversas condições climática, com alta exigência a insolação e resistente à seca, esta cultura apresenta-se como uma opção agrícola com alto potencial de cultivo em diversas regiões.

Nas condições de Cerrado, os solos são em sua maioria ácidos, apresentando teores de alumínio e manganês em níveis fitotóxicos, bem como a deficiência de elementos essenciais como fósforo, cálcio, magnésio e potássio. Portanto, verifica-se que os problemas resultantes da acidez do solo dependem de uma série de fatores que afetam os processos bioquímicos e fisiológicos.

O alumínio (Al) é considerado um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das culturas em solos ácidos. Os primeiros danos da toxidez de alumínio sobre as plantas se expressam de forma mais acentuada no sistema radicular, promovendo a inibição do crescimento da raiz. O excesso de Al além de inibir a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas e na absorção, transporte e uso de nutrientes pelas plantas (TAMÁS, 2004).

A limitação do crescimento do sistema radicular no perfil do solo reflete no crescimento da parte aérea da planta, assim como no pleno crescimento e desenvolvimento da planta, resultando em menor produtividade. Os reflexos disso adquirem maior proporção em períodos de veranico, pois nesta condição as plantas buscam por água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo.

A verificação da inibição do crescimento da raiz é comumente usada como uma medida de toxicidade do Al. Entretanto, o crescimento da raiz é um processo complexo e dinâmico, no qual, provavelmente vários processos bioquímicos e fisiológicos podem já ter sido alterados antes da inibição do crescimento da raiz induzida por Al (RENGEL e ZHANG, 2003). Estudos de toxicidade de Al em raízes sugerem que a produção de espécies reativas ao oxigênio (ROS) pode contribuir significativamente para a inibição do alongamento da raiz (TAMÁS et al., 2004).

O aumento da produção de ROS como o radical superóxido, radical hidroxil e peróxido de hidrogênio é característica comum a vários tipos de estresse, incluindo toxicidade do Al, que levam a perturbação da homeostase redox celular. Essas espécies de oxigênio altamente citotóxicas podem causar dano oxidativo a biomoléculas tais como lipídios, proteínas, pigmentos e ácidos nucleicos, levando a peroxidação de lipídeos de membrana, perda de íons, hidrólise de proteínas, e até mesmo dano ao DNA (GUO et al., 2007), e com isso levar a alterações na sua atividade fisiológica.

Embora o Al possa produzir alguns efeitos comuns sobre as plantas, na maioria dos casos há respostas e efeitos específicos sobre determinado genótipo. Com isso, verifica-se que há, tanto entre como dentro das espécies vegetais, uma ampla variação genética que reflete em diferentes respostas na tolerância ao alumínio (MA e FURUKAWA, 2003). Diante disto, a estratégia do melhoramento de plantas em identificar genótipos e entender os mecanismos que levam à tolerância ao alumínio no solo vem tendo elevada importância.

No caso do pinhão-mansão, uma espécie que ainda se encontra em processo de domesticação, pouco se conhece sobre os aspectos bioquímicos, fisiológicos e até mesmo agrônômicos da espécie. No entanto, existe uma ampla diversidade genética a ser explorada que ocorre em função da inexistência de variedades definidas e pela propagação via sementes, na qual apresenta altos índices de polinização cruzada.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e comportamento fisiológico de procedências de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUO, T. R.; ZHANG, G. P.; ZHANG, Y. H. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium. **Colloids and Surfaces B Biointerfaces**, v. 57, n. 2, p. 182-188, 2007.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão-mansão na fase jovem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, 2011.

MA, J. F.; FURUKAWA, J. Recent progress in the research of external Al detoxification in higher plants: a minireview. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 97, n. 6, p. 46-51, 2003.

RENGEL, Z.; ZHANG, W-H. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum toxicity syndrome. **New Phytologist**, v. 159, n. 2, p. 295-314, 2003.

TAMÁS, L.; S. M.; HUTTOVA, J.; MISTRİK, I. Aluminium stimulated hydrogen peroxide production of germinating barley seeds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 3, p. 281-288, 2004.

VANZOLINI, S.; MEORIN, E. B. K.; SILVA, R. A.; NAKAGAWA, J. Qualidade sanitária e germinação de sementes de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, 2010.

CAPÍTULO I – EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO

Autor: Leandro Henrique de Sousa Mota

Orientadora: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

RESUMO

O alumínio em concentrações elevadas no solo afeta a emergência, o crescimento e o desenvolvimento de diversas espécies. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a emergência e o crescimento inicial de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio. O experimento foi desenvolvido em estufa na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), durante o período de Janeiro a Abril de 2012. A unidade experimental foi constituída de vasos com capacidade de 5,0 dm³ de solo e o substrato utilizado foi solo coletado na profundidade de 80 a 100 cm. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), utilizando esquema de parcelas subdivididas, na qual as parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de alumínio no solo (0,0, 8,2, 16,5 e 24,0 mmol_c dm⁻³), as subparcelas corresponderam as quatro procedências das sementes de pinhão-manso (P1 = Dourados-MS; P2= Montes Claros-MG; P3= Alta Floresta-MT; P4= Petrolina-PE), e as subsubparcelas consistiram nas 4 épocas de avaliação (25, 50, 75 e 100 dias após a emergência), sendo utilizado três repetições. Já para as avaliações de emergência os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, referentes aos quatro níveis de alumínio no solo e as quatro procedências de pinhão-manso, com quatro repetições de 24 sementes. Os diferentes níveis de alumínio no solo foram obtidos a partir da correção do solo inicial, que apresentava uma concentração de alumínio de 24,0 mmol_c dm⁻³. A porcentagem, o índice de velocidade e o tempo médio de emergência não apresentaram efeito significativo para os níveis de alumínio avaliados e entre as procedências. O aumento dos níveis de alumínio no solo reduziu o crescimento e o acúmulo de massa seca das procedências P1-Dourados, P2-Montes Claros e P3-Alta Floresta. A procedência P4-Petrolina apresentou maior tolerância nas condições de presença do alumínio, sendo que o volume radicular, massa seca das plantas e índice de clorofila foram superiores nestas condições.

Palavras chave: *Jatropha curcas* L., oleaginosa, vigor, crescimento e desenvolvimento

CHAPTER I - EMERGENCY AND INITIAL GROWTH OF PROVENANCES OF PHYSIC-NUT AT DIFFERENT LEVELS OF ALUMINIUM

Author: Leandro Henrique de Sousa Mota

Adviser: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

ABSTRACT

The aluminum in high concentrations in the soil affects the emergence, growth and development of various species. This study aimed to evaluate the emergence and initial growth of provenances of physic-nut (*Jatropha curcas* L.) at different levels of aluminum. The experiment was conducted in a greenhouse in the Faculty of Agrarian Sciences (FCA) University Federal of Grande Dourados (UFGD) during the period January to April 2012. The experimental unit consisted of vase with a capacity of 5.0 dm³ of soil, which was used as substrate soil collected at a depth of 80 to 100 cm. The treatments were arranged in a completely randomized (DIC), used in split-plot design in which the treatments in plot were four levels of aluminum (0.0, 8.2, 16.5 and 24.0 mmol dm⁻³), the subplots consisted of four provenances of physic nut seeds (P1 = Dourados-MS; P2 = Montes Claros-MG; P3 = Alta Floresta -MT; P4 = Petrolina-PE), and the subsubplots consisted in the 4 times (25, 50, 75 and 100 days after emergence), being used three replicates. As for the reviews of emergency the treatments were arranged in a 4 x 4 factorial, referring to the four levels of aluminum in the soil and the four provenances of physic nut seeds, with four replications of 24 seeds. The different levels of aluminum were obtained from the initial soil amendment, which had an aluminum concentration of 24.0 mmol dm⁻³. The percentage, the index velocity and the average time of emergency had no significant effect on the levels of aluminum and evaluated between the provenances. The increased levels of aluminum in the soil reduced the growth and dry matter accumulation of provenances P1-Dourados, P2-Montes Claros and P3-Alta Floresta. The provenance P4-Petrolina proved greater tolerance in the presence of aluminum, and the root volume, dry mass of plants and chlorophyll index were higher in these conditions.

Keywords: *Jatropha curcas* L., oleaginous, vigour, growth and development

INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta oleaginosa, pertencente à família das Euforbiáceas, nativa da América Central e adaptada a diversidade de ambientes tropicais e subtropicais, além de ser comumente encontrada na África e na Ásia. Esta planta apresenta grande potencial econômico, ecológico e ambiental, pois se pode utilizá-la como planta medicinal, proteção contra erosão do solo, confecção de cercas vivas e, atualmente, vem sendo evidenciada sua importância no uso como matéria prima para a produção do biodiesel (DIVAKARA et al., 2010).

Por se tratar de uma espécie exigente em insolação, com grande tolerância ao estresse hídrico e adaptação às condições adversas (ARRUDA et al., 2004), o pinhão-manso tem sido considerado como uma opção agrícola para a região do Cerrado. No entanto, nesta região os solos possuem limitações para produção agrícola devido à baixa fertilidade, elevada acidez associada ao elevado nível de alumínio e a baixa disponibilidade de água na prolongada estação seca (FERNANDES e MURAOKA, 2002).

Acredita-se que no mundo, aproximadamente 50% das terras aráveis e potencialmente utilizáveis para a produção de alimentos e de biomassa são ácidas e, portanto, sujeitas à toxicidade de alumínio (KOCHIAN et al., 2004). Quando o pH do solo torna-se ácido, formas solúveis de Al podem se acumular em concentrações que inibem a germinação, o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Portanto, à medida que os solos se acidificam, íons de alumínio passam a ocupar as posições de troca catiônica, em superfícies eletronegativas dos colóides, em substituição aos cátions removidos pela lixiviação, onde concentrações de espécies de alumínio podem alcançar níveis tóxicos para as plantas (RENGEL e ZHANG, 2003).

Nos processos de germinação e emergência das sementes vários fatores como temperatura, luz, disponibilidade hídrica e substrato têm sido amplamente estudados. Por outro lado, pouca atenção tem sido dada à presença de elementos tóxicos no meio que serve de substrato. No caso do alumínio, o elemento se torna disponível em condições de pH baixo, sendo que, em solo ácido, o elemento solubiliza-se em Al^{3+} , exercendo efeito tóxico sobre a germinação e o desenvolvimento das espécies vegetais (CUSTÓDIO et al., 2002; HARTWIG et al., 2007). Em determinados casos, a

lixiviação do solo pode resultar em solos com níveis de acidez em que a germinação, emergência e o crescimento inicial de muitas espécies tornam-se impossíveis (SOUZA FILHO e DUTRA, 1998).

Durante o crescimento das plantas o acúmulo de alumínio ocorre preferencialmente no sistema radicular, devido a baixa mobilidade na planta, reduzindo então seu crescimento e desenvolvimento, causando um aumento no diâmetro das raízes e diminuição do número de raízes laterais (MACEDO, 2011). A taxa de redução do crescimento radicular poderá ter caráter reversível ou não dependendo da severidade do estresse, pois este pode ter níveis altos provocando morte das células da zona meristemática ou intermediária, causando aparecimento de áreas manchadas de cor marrom castanho próximo da região meristemática (SIMONOVICOVA et al., 2004).

Com relação ao método de propagação do pinhão-manso, este pode ocorrer através de sementes e por estaquia. A propagação via seminal tende a gerar indivíduos mais vigorosos e de maior longevidade, enquanto que as provenientes de estacas são de vida mais curta e sistema radicular menos vigoroso. No entanto, plantas cultivadas por sementes apresentam a desvantagem de possuir uma elevada variabilidade genética, devido ao fato da espécie apresentar altos índices de polinização cruzada. Portanto, o local de procedência das sementes pode interferir no vigor da emergência, no crescimento, na produtividade e na qualidade de óleo (ABREU et al., 2009).

Apesar de anos de pesquisa sobre os efeitos do alumínio no crescimento e no desenvolvimento de plantas, os mecanismos primários de sua toxidez e de tolerância ainda precisam ser esclarecidos. Em vista dessa situação, muitos pesquisadores, em diferentes lugares do mundo, postulam que a seleção de genótipos produtivos e tolerantes a toxidez do alumínio seja considerada um componente de grande importância dentro das estratégias de manejo dos solos ácidos (TABALDI, 2008).

Devido aos poucos estudos referentes à nutrição, e especificamente sobre a tolerância de plantas de pinhão-manso ao alumínio, objetivou-se no presente trabalho avaliar a emergência e o crescimento inicial de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa, sob cobertura de polietileno de baixa densidade, na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados-MS, durante o período de Janeiro a Abril de 2012. O local de condução do experimento se localiza nas coordenadas de latitude 22° 11' 45" S, longitude de 54° 55' 18" W e com 446 metros de altitude. O clima da região é classificado como do tipo Cwa (Köppen), ou seja, clima mesotérmico úmido com verões quentes e invernos secos (FIETZ e FISCH, 2006). Durante o período experimental, a temperatura média do ar observada dentro da estufa foi de 26,8°C, já a umidade relativa do ar média foi de 72,4%.

A unidade experimental foi constituída de vasos com capacidade de 5,0 dm³ de solo, que após a coleta foi seco ao ar e peneirado em malha de 5 mm para eliminação dos torrões. O solo utilizado no presente estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa, o qual foi coletado na profundidade de 80 a 100 cm, em uma área de pousio localizada próximo a área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias.

O delineamento experimental adotado na condução do experimento foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo que para a avaliação da emergência os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, referentes aos quatro níveis de alumínio no solo (0,0; 8,2; 16,5 e 24,0 mmol_c dm⁻³) e as quatro procedências das sementes de pinhão-manso (P1 = Dourados-MS; P2= Montes Claros-MG; P3= Alta Floresta-MT; P4= Petrolina-PE), com quatro repetições de 24 sementes. Já na avaliação do crescimento das plantas os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, na qual as parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de alumínio no solo, as subparcelas corresponderam as quatro procedências de pinhão-manso, e as subsubparcelas consistiram nas 4 épocas de avaliação (25; 50; 75 e 100 dias após a emergência), sendo utilizado três repetições para cada tratamento, totalizando 192 vasos.

Os diferentes níveis de alumínio no solo foram obtidos a partir da correção do solo inicial (Al 1), que apresentava uma concentração de alumínio de 24,0 mmol_c dm⁻³. A correção foi realizada através do uso de calcário "filler" (Quadro 1), visando

elevar a saturação por bases do solo para 33,3 (Al 2), 56,6 (Al 3) e 80% (Al 4), cujas doses de calcário corresponderam a 0,48, 0,97 e 1,65 g kg⁻¹ de solo, respectivamente. Para o cálculo da necessidade de corretivo, utilizou-se o método da saturação por bases (RAIJ et al., 1997).

QUADRO 1. Composição do calcário "filler" utilizado no experimento

Descrição	%
Soma de óxidos	50,5
Óxidos de cálcio	28
Óxidos de magnésio	22,5
Poder de neutralização	103
PRNT Total	100,1
Peneira ABNT 10 2mm	100
Peneira ABNT 20 0,84mm	98
Peneira ABNT 50 0,30mm	95
Natureza física	pó

Na incorporação do calcário, o solo de cada vaso juntamente com o calcário foram colocados em saco plástico com capacidade de 20 litros, inflados com ar e agitados vigorosamente por um minuto. Em seguida, o solo foi umedecido com água de modo a ocupar aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água (CRA). O período de incubação foi de 30 dias, sendo que os sacos tiveram as entradas parcialmente fechadas para reduzir a perda de água por evaporação. A cada 10 dias, os solos foram revolvidos para dissipar o CO₂ liberado pela reação do calcário e a umidade era repostada até o nível de 80% da CRA.

Ao final da incubação amostras dos solos Al 2, Al 3 e Al 4 foram submetidos a análise química (Quadro 2) e verificou-se uma concentração de alumínio de 16,5, 8,2 e 0,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente, na qual juntamente com o solo inicial Al 1 (24,0 mmol_c dm⁻³) formaram as parcelas do experimento. Os valores iniciais (Al 1) referentes à análise química e granulométrica do solo são apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2. Valores referentes à análise química e granulométrica do solo inicial (Al 1) e após a correção visando uma saturação de bases de 33,3 (Al 2), 56,6 (Al 3) e 80% (Al 4)

Característica Química	Al 1	Al 2	Al 3	Al 4
Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	24,00	16,50	8,20	0,00
m%	82,64	41,56	17,75	0,00
pH em CaCl_2	4,20	4,71	5,04	5,37
pH em água	4,83	5,03	5,36	5,72
M.O. (g dm^{-3})	6,30	6,30	6,30	6,30
H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	44,8	36,0	27,0	20,0

Característica Granulométrica	Valores
Argila (%)	69,50
Silte (%)	23,02
Areia (%)	7,48

A adubação foi realizada após a incubação, sendo que o solo de cada vaso foi novamente seco ao ar e receberam o fósforo, e novamente foi realizada a agitação para a incorporação do fosfato. Na sequência, o solo de cada vaso recebeu a adubação de sementeira com os demais macro e micronutrientes, segundo recomendação para o cultivo em ambientes controlados descrita em Novais et al. (1991), em que as quantidades dos nutrientes e as fontes estão apresentadas no Quadro 3. O nitrogênio e o potássio foram aplicados na sementeira, na dose de apenas 50% daquela apresentada no Quadro 3, sendo que o restante foi aplicado aos 30 dias após a sementeira. Na homogeneização das fontes de nutrientes quanto ao tamanho de partículas, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio foram triturados e passados através da peneira de 0,84 mm de abertura.

As sementes das procedências utilizadas no experimento foram obtidas na safra 2010/2011 e cedidas pela Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados-MS. Foi determinado o grau de umidade das sementes, realizado pelo método da estufa a $105^\circ\text{C}\pm 3$, durante 24h, de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009), utilizando-se duas repetições de 10 sementes. As sementes do pinhão-mansão apresentaram um grau de umidade (base úmida) de 8,2, 8,5, 8,3 e 8,6% para as procedências P1, P2, P3 e P4, respectivamente. Portanto, as mesmas se encontravam secas e com grau de umidade abaixo de 10%, compatível com valores de sementes ricas em lipídios (NEVES et al., 2009). Na instalação do experimento, efetuou-se uma triagem manual para padronização do tamanho e estado de conservação das sementes.

QUADRO 3. Nutrientes, concentrações requeridas, fontes e quantidades das mesmas, utilizadas na adubação básica do solo em experimento realizado em estufa

Tipo	Concentração (mg kg ⁻¹)	Nutriente		Quantidade da fonte (mg kg ⁻¹ solo)
			Fonte	
N	200		Uréia - (NH ₂) ₂ CO (45% N)	368,49
			Sulfato de Amônio - (NH ₄) ₂ SO ₄ (21% N e 24% S)	162,76
P	300		Superfosfato Triplo - 10Ca(H ₂ PO ₄)H ₂ O (18,4% P)	1635,71
K	150		Cloreto de Potássio - KCl (49,8% K)	301,00
S	40		Sulfatos NH ₄ , Cu, Fe e Zn	-
B	0,81		Ácido bórico - H ₃ BO ₃ (17% B)	4,76
Cu	1,33		Sulfato de Cobre* - CuSO ₄ .5H ₂ O (25% Cu e 13% S)	5,32
			Sulfato Ferroso* - FeSO ₄ .7H ₂ O (19% Fe e 12% S)	8,16
Mn	3,66		Cloreto de Manganês* - MnCl ₂ .4H ₂ O (27,8 % Mn)	13,18
Mo	0,15		Molibdato de sódio* - NaMoO ₄ .2H ₂ O (39% Mo)	0,38
Zn	4,00		Sulfato de Zinco* - ZnSO ₄ .7H ₂ O (21% Zn e 11% S)	19,05

Novais et al. (1991), modificado.

* Reagentes p.a.

A semeadura das quatro procedências foi realizada logo após a adubação, sendo colocadas oito sementes por vaso em uma profundidade de três centímetros. Os vasos foram mantidos com a mesma umidade, 80% da capacidade de campo, durante todo o experimento, com reposição da água evapotranspirada mediante a diferença da pesagem diária dos vasos, tendo sua massa aferida numa balança de prato instalada no local do experimento.

O número de plântulas emergidas foi avaliado diariamente até o 12º dia após a semeadura quando houve estabilização da emergência em todos os tratamentos. Com base nestes dados foi possível avaliar:

- **Porcentagem de emergência (E%)**: correspondente à porcentagem total de sementes emergidas até o momento que houve estabilização;

- **Índice de velocidade de emergência (IVE)**: empregando-se a fórmula proposta por Maguire (1962), conforme a equação abaixo:

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n}$$

Em que:

E_1, E_2, E_n : número de plântulas na primeira, segunda e na última contagem.

N_1, N_2, N_n : número de dias da sementeira a primeira, segunda e terceira contagem.

- **Tempo médio de emergência (TME)**: de acordo com Silva e Nakagawa (1995), conforme a equação abaixo:

$$TME = \frac{(\sum n_i t_i)}{\sum n_i}$$

Em que:

n_i : número de sementes germinadas por dia;

t_i : tempo de incubação em dias;

Para a avaliação do crescimento das plantas foi realizado o desbaste, após as avaliações de emergência, mantendo-se duas plantas por vaso. A cada 25 dias após a emergência (25, 50, 75 e 100 dias) foram coletados os dados das seguintes características:

- **Altura de plantas**: utilizada uma régua graduada em milímetros;
- **Diâmetro do coleto**: utilizado paquímetro digital com precisão em milímetros;
- **Comprimento de raiz**: utilizando uma régua graduada em milímetros para a medida da maior raiz;
- **Volume de raiz**: foi obtida colocando as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água, sendo obtido o volume radicular através da diferença, na qual considerou a equivalência de unidades (1mL = 1cm³);
- **Razão altura/diâmetro (RAD)**: calculada dividindo-se a altura pela diâmetro de coleto;
- **Razão raiz/parte aérea (Raiz/PA)**: calculada dividindo-se o comprimento de raiz pela altura;
- **Número de folhas**: contabilizando o número total de folhas por planta;
- **Área foliar**: medida com o aparelho LI-COR modelo LI-3100C;

- **Massa seca de folha, caule e raiz:** secas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 72 horas até atingirem massa constante, e pesadas em balança de precisão;

- **Massa seca total:** calculada pela soma das massas secas de folha, caule e raiz.

Com os dados de massa seca do caule, folha, raiz e massa seca total, obteve-se as seguintes características morfofisiológicas de crescimento segundo Benincasa (2003):

- **Razão da parte aérea e raiz (RPAR):** calculada dividindo-se a massa seca da parte aérea pela massa seca da raízes;

- **Razão de peso de folha (RPF):** calculada dividindo-se a massa seca das folhas pela massa seca total;

- **Área foliar específica (AFE):** calculada dividindo-se a área foliar pela massa seca das folhas;

- **Razão de área foliar (RAF):** calculada dividindo-se a área foliar pela massa seca total.

Após teste de normalidade (Teste de Lilliefors) e homogeneidade (Teste de Bartlett), para efeito de análise de variância das características estudadas, os dados de porcentagem de emergência foram transformados em $\sqrt{(x + 1)}$. Os dados coletados foram analisados estatisticamente, por meio da Análise da Variância e ao teste F a 5% de probabilidade e havendo efeito estatisticamente significativo as médias das procedências foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias dos níveis de alumínio, idade das plantas e as interações entre os fatores foram ajustados por meio da análise de regressão, até o nível de 5% de probabilidade. Os dados foram analisados com o auxílio do programa estatístico SAEG 9.1 (UFV, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem, o índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (TME) não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) para as diferentes procedências e entre os níveis de alumínio avaliados (Anexo 1). Dessa forma, não realizou-se o teste de comparação de média e não se ajustaram equações de regressão para essas características, sendo o valor estimado das variáveis dependentes igual à média aritmética obtida no ensaio. A porcentagem média da emergência foi de 87,58%, sendo considerada alta, a média do IVE foi de 3,72 e o do TME foi de 8,94 dias.

Os resultados obtidos para emergência indicam que a qualidade fisiológica das sementes das diferentes procedências era semelhante, além disso, a ausência de diferença estatística para os níveis de alumínio deixa evidente que o processo de emergência não foi afetado pelos tratamentos. Gordin et al. (2013) verificou em seu trabalho que a emergência e velocidade de emergência de plântulas de pinhão-manso foram reduzidas em doses superiores a 10 mmol L^{-1} , sendo que a redução na emergência foi de 98% na concentração de 20 mmol L^{-1} .

As informações disponíveis na literatura para os efeitos do alumínio sobre a emergência de sementes são insuficiente, limitando-se apenas há poucos trabalhos com avaliação da germinação (MARIN et al., 2004). Em trabalho desenvolvido por Macedo e Lopes (2008), que avaliando a qualidade fisiológica de quatro cultivares de café sob a presença de alumínio, observaram que os dados para primeira contagem e germinação total não foram afetados pelo alumínio. Marin et al. (2004), verificaram em seus estudos que o alumínio reduziu a germinação da cultivar IAC Fava Larga de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), por outro lado, níveis de até $10,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$ de sulfato de alumínio não afetaram a germinação da cultivar IAPAR 43-Aratã.

O aumento dos níveis de alumínio no solo reduziu o crescimento e o acúmulo de massa seca das procedências, sendo que nas doses superiores a $16,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$ verificou-se raízes mais grossas e escuras, além de crescimento lateral limitado a poucos ramos, de porte raquíptico e com folhas pequenas de coloração amarelada (Anexo 2A) e avermelhada com certas ondulações nos bordos (Anexo 2B), assemelhando-se, de

certa forma com uma das características de deficiência de fósforo, descrita por Salvador et al. (1998). O pecíolo apresentou-se de tonalidade avermelhada e as raízes de coloração mais escura. Segundo os autores, os sintomas visuais da fitotoxidez de alumínio na parte aérea também se assemelham aos de deficiência de fósforo. O Al interfere de modo generalizado, quando em níveis tóxicos, na absorção e translocação de nutrientes, apresentando as plantas cultivadas em solos com toxidez de Al teores reduzidos de nutrientes na parte aérea (CALBO e CAMBRAIA, 1980).

O crescimento das plantas das diferentes procedências diminuiu conforme se elevou os níveis de alumínio no solo, efeito observado para todas as procedências, observando-se que houve uma resposta linear da característica em todos os genótipos. Nos menores níveis de alumínio verificou-se que as plantas provenientes de sementes da procedência P1 apresentaram altura superior, no entanto, conforme se elevou os níveis de alumínio houve uma redução drástica do porte das plantas, sendo que as da procedência P4 tiveram a maior altura nestas condições (Figura 1A). Até os 35 dias após a emergência a altura das plantas foi superior no ambiente com $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio, mas após este período os valores foram superiores no solo sem alumínio, e se mantiveram maiores até os 100 dias (Figura 1B).

A redução da altura de plantas pode ser resultante da limitação na absorção de nutrientes pelas plantas, quando o Al se encontra em teores tóxicos. Ainda, o alumínio pode afetar o crescimento da parte aérea por meio da necrose no ápice radicular que acaba inibindo a biossíntese de citocinina, hormônio que estimula a divisão celular nas raízes, e subsequente decréscimo na sua translocação para os sítios de ação (MERIGA et al., 2004).

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio e as procedências para o diâmetro de coleto (Anexo 3). Porém nos níveis de alumínio superior a $8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo, observou-se redução do diâmetro do coleto das plantas (Figura 1C). O diâmetro aumentou com o passar dos dias, sendo superior no tratamento sem alumínio, no entanto, os valores pouco diferiram aos dos tratamentos com $8,2$ e $16,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio (Figura 1D).

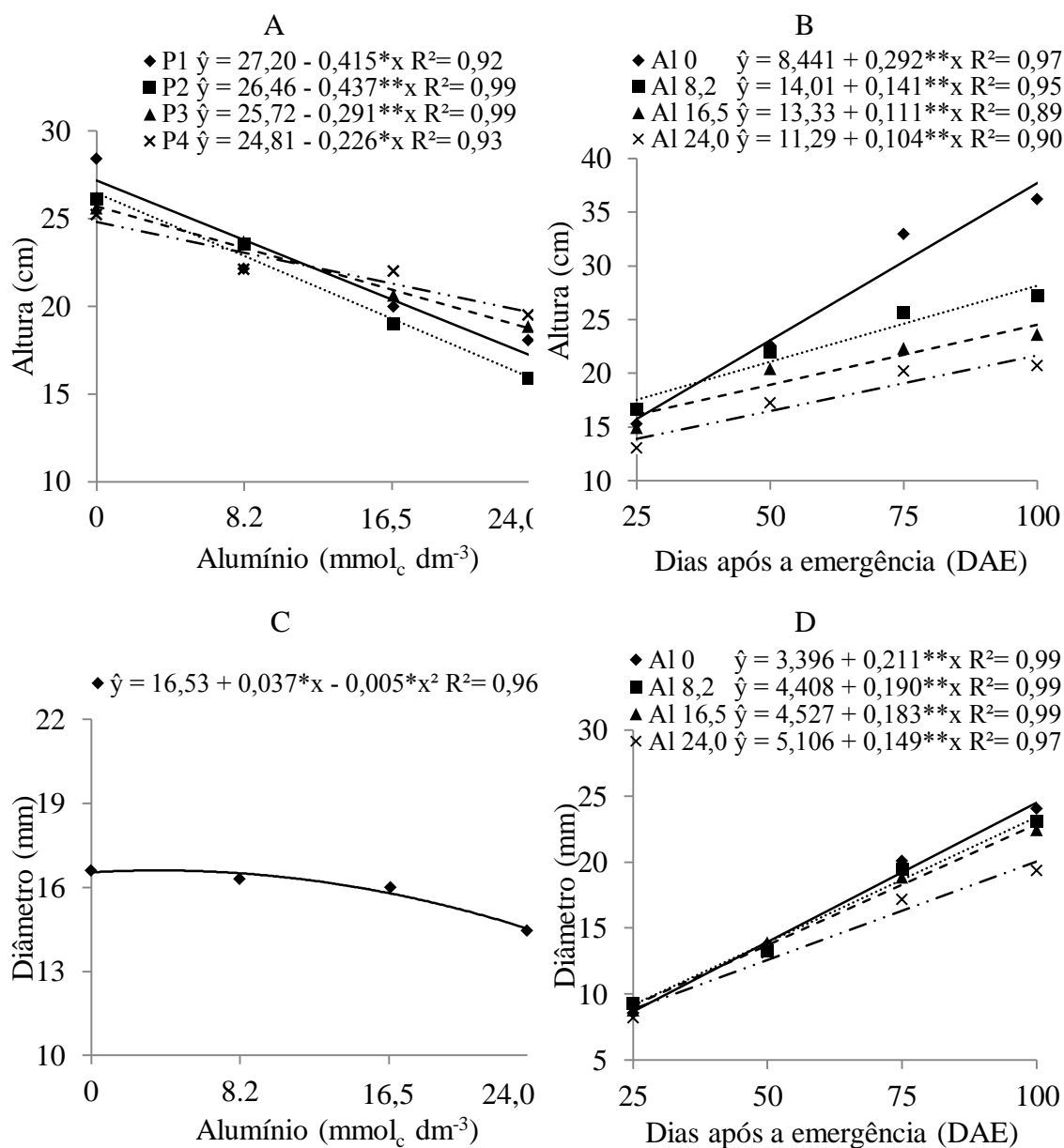


FIGURA 1. Altura (A-B) e diâmetro do coleto (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

O comprimento de raiz não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os fatores estudados. À medida que aumentou os níveis de alumínio, ocorreu diminuição do comprimento de raiz (Figura 2A), já com relação ao tempo, os valores foram superiores aos 100 dias após a emergência (Figura 2B). O menor crescimento radicular, decorrente da presença do alumínio, resulta na menor absorção de água e nutrientes que são essenciais para compor moléculas fundamentais para o

processo fotossintético. Além disso, Yamamoto et al. (2002) relata que provavelmente vários processos bioquímicos e fisiológicos podem já ter sido alterados antes da inibição do crescimento da raiz induzida pelo alumínio, entre eles o estresse oxidativo.

Os resultados concordam com os obtidos por Macedo et al. (2011) que, avaliando o efeito do alumínio em plantas de pinhão-manso, observaram uma redução linear do comprimento de raiz conforme aumentou os níveis de alumínio. A possível explicação para esse fato é relatada por Custódio et al. (2002), na qual o alumínio reagiria com cadeias de ácido poligalacturônico das paredes das células jovens, formando compostos pécticos “errados” (substituição ou deslocamento de Ca) o que resultaria na perda de elasticidade celular. Nessa condição, a região meristemática da extremidade da raiz teria uma grande quantidade de células com dois núcleos, indicando a paralisação no processo de divisão celular.

O volume de raiz, assim como ocorreu para a característica altura, apresentou valores superiores para a procedência P1 nas condições de ausência de alumínio, mas conforme se elevou os níveis de alumínio no solo, ocorreu uma redução do volume radicular. Nos níveis superiores a $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo, as sementes da procedência P4 proporcionaram plantas com os maiores volumes de raiz, sendo máximo na concentração de $11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio (Figura 2C). Com relação ao tempo, houve uma resposta linear crescente para o volume de raiz em todas as concentrações de alumínio estudadas, sendo maior na ausência e em $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com médias muito próximas até o final das avaliações (Figura 2D). Segundo Lavres Junior e Monteiro (2003), o maior volume de raízes permitira a planta preencher um maior volume de solo e, conseqüentemente, resultara em maior capacidade de absorção de água e nutrientes.

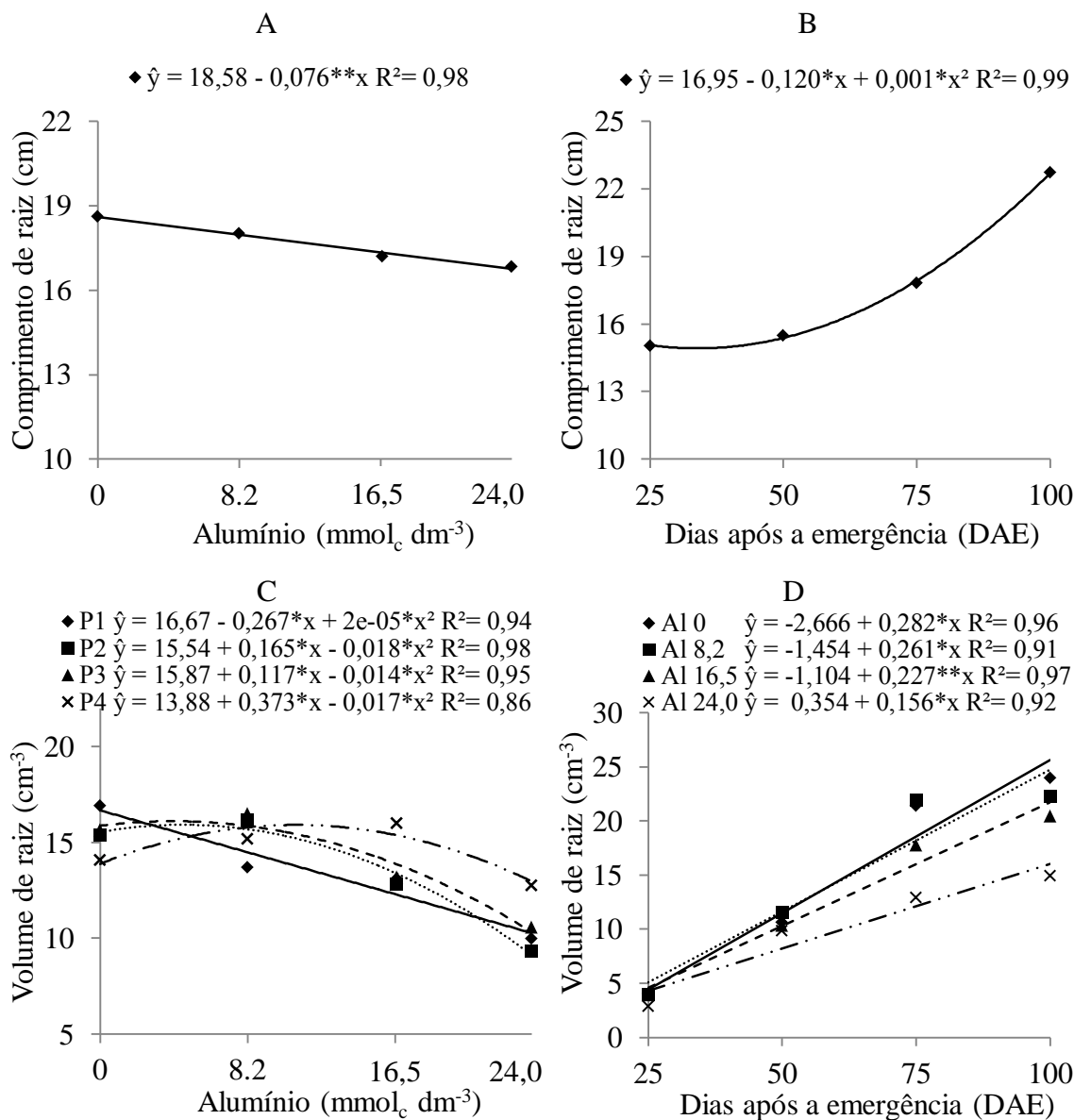


FIGURA 2. Comprimento de raiz (A-B) e volume de raiz (C-D) de plantas de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

As razões altura/diâmetro (RAD) e a razão raiz/parte aérea (raiz/PA) não apresentaram interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores níveis de alumínio e procedências (Anexo 3). A RAD diminuiu com o aumento dos níveis de alumínio e tempo (Figura 3A e 3B), sendo que no decorrer do experimento os maiores valores foram observados no tratamento $0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 3B). Por outro lado os valores para raiz/PA foram superiores à medida que se elevou os níveis de alumínio (Figura 3C), indicando um maior crescimento da raiz em detrimento da parte aérea. Os valores

da raiz/PA reduziram até os 75 dias após a emergência com tendência de crescimento posterior, sendo que os dados foram máximos no tratamento 24,0 mmol_c dm⁻³ de alumínio (Figura 3D).

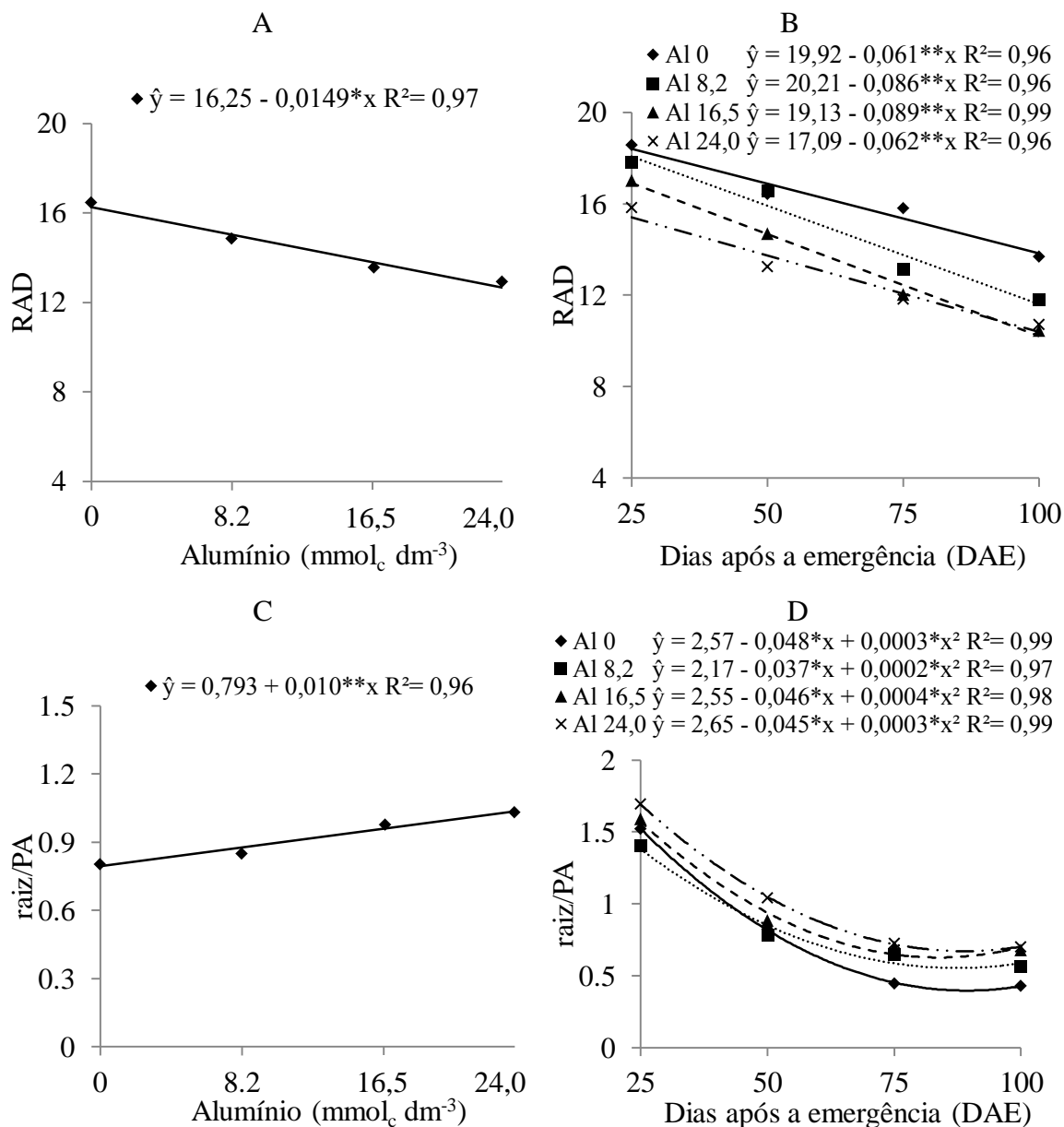


FIGURA 3. Razão altura/diâmetro (A-B) e razão raiz/parte aérea (C-D) de plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

O maior crescimento da raiz em relação à altura, no solo com maiores níveis de alumínio, pode ser reflexo da menor disponibilidade de nutrientes, que é característica de solos com teores tóxicos de alumínio. Lambers et al. (2008) relatam

que algumas espécies podem investir mais em raízes de modo a aumentar a captação de nutrientes em ambientes onde a disponibilidade de recursos no solo é baixa. Nessas condições de regimes nutricionais limitantes as espécies, normalmente, apresentam menor crescimento e maior razão raiz/parte aérea (GUNATILLEKE et al., 1997).

Não houve efeito significativo ($p>0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio e as procedências para número de folhas. No estudo isolado do alumínio, observa-se que o número de folhas reduziu com o aumento dos níveis de alumínio (Figura 4A). Com relação ao tempo, houve aumento linear do número de folhas para todos os níveis de alumínio, até os 100 dias após a emergência e se manteve maior no tratamento em que o solo não continha alumínio (Figura 4B). Resultados semelhantes foram observados por Tecchio et al. (2005), que verificaram que a adição do alumínio em solução nutritiva promoveu o encurtamento dos internódios e consequentemente um menor número de folhas de videira (*Vitis vinifera* L.), resultando no menor acúmulo de massa seca da parte aérea.

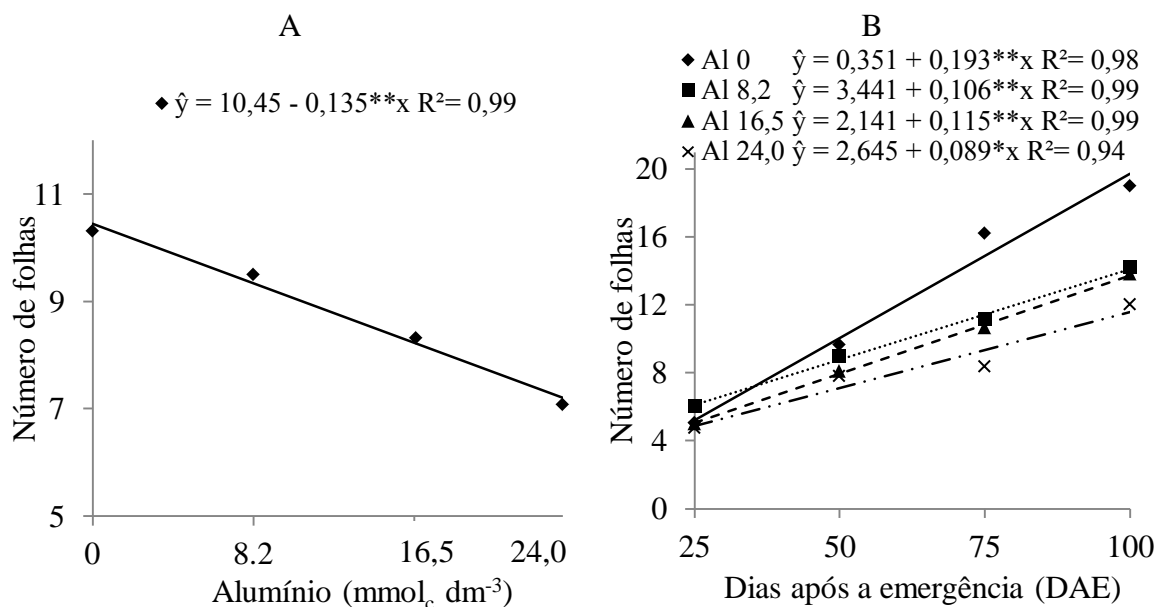


FIGURA 4. Número de folhas nas plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.

A área foliar das plantas, assim como o número de folhas, reduziu conforme aumentou os níveis de alumínio no solo. As plantas da procedência P3 apresentaram a maior área foliar até quando o nível de alumínio no solo foi de 7,8 mmol_c dm⁻³, acima

desta concentração as plantas da procedência P4 se destacaram (Figura 5A). Analisando o efeito do alumínio sobre a área foliar ao longo do tempo, observa-se que houve uma resposta linear, com os maiores valores nas plantas do tratamento com 0 mmol_c dm⁻³ (Figura 5B) e em relação as procedências, os materiais P4 e P3 mantiveram maiores médias de área foliar ao longo das avaliações com valores muito próximos (Figura 5C).

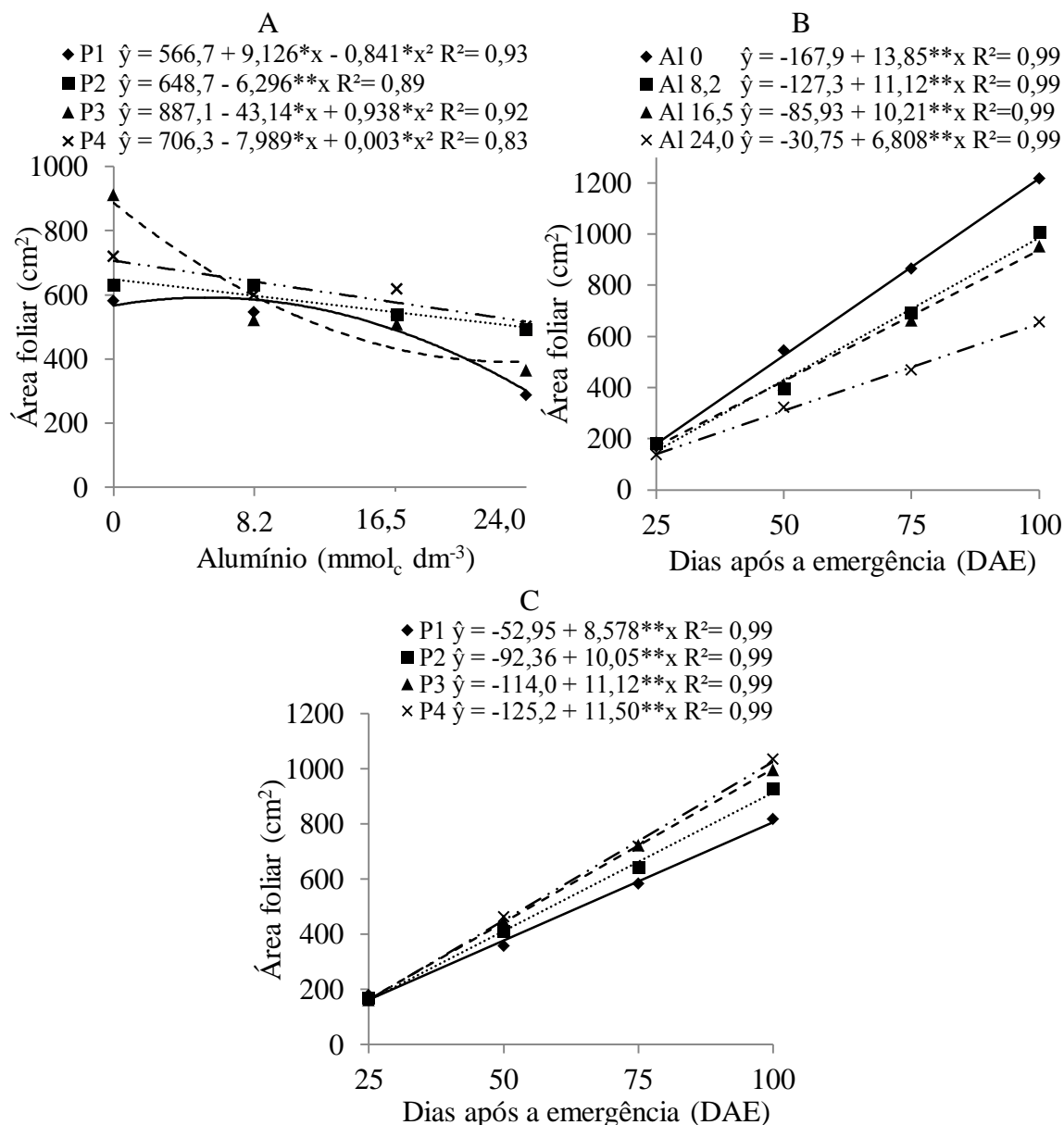


FIGURA 5. Área foliar das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

Os resultados obtidos para área foliar são semelhantes aos observados para mamoneira por Lima et al. (2007c) nos quais, o crescimento da área foliar em solos com

teores de alumínio variando entre 0 e $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, reduziu de 77% e 50% na ausência e presença da matéria orgânica, respectivamente. O menor crescimento das raízes, ocasionado pela presença de alumínio no solo, reduz o volume de solo explorado pelas raízes, dificultando a absorção de água e nutrientes, comprometendo a formação dos órgãos da parte aérea, principalmente das folhas e acaba por reduzir a produtividade (LIMA et al., 2007c).

A massa seca de folhas foi maior nas plantas da procedência P3 para os níveis mais baixos de alumínio no solo, já sob o efeito dos níveis mais elevados, na procedência P3 observa-se uma redução linear, com menor massa seca de 1,68 g, quando o nível de alumínio no solo foi de $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Por outro lado, os valores para massa seca de folhas para a procedência P4 foram superiores às demais procedências a partir do nível de alumínio de $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com massa seca máxima de 3,15g (Figura 6A). No decorrer do tempo verificou-se que a massa seca foi maior na ausência de alumínio no solo (Figura 6A e 6B) e para a procedência P4 (Figura 6C).

A redução da massa seca em função da elevação dos níveis de alumínio é reflexo do número de folha (Figura 4A) e área foliar (Figura 5A) que tiveram comportamento semelhante. De acordo com Hermann e Câmara (1988), citado por Oliveira et al. (2007), a folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais, na qual estes órgãos são responsáveis por 90% da massa seca acumulada nas plantas, resultante da atividade fotossintética. Assim, fatores como toxidez de alumínio que causam a diminuição da área foliar, conseqüentemente promovem a redução da massa seca das plantas.

No presente estudo, a variação da redução da massa seca das folhas sugere uma distinta sensibilidade fisiológica dos genótipos de diferentes procedências ao estresse de alumínio ou uma maior eficiência na absorção de nutrientes, sendo que novos trabalhos devem ser realizados no intuito de investigar os mecanismos de tolerância do pinhão manso. Por outro lado, Macedo et al. (2011) avaliando o efeito do alumínio, em solução nutritiva, sobre acessos de pinhão-manso provenientes de São Paulo, Minas Gerais e Bahia, não observaram interação significativa entre genótipo x concentração de alumínio na avaliação da massa fresca e seca de parte aérea, raiz e comprimento de raiz. Entretanto Lima et al. (2007b), estudando a tolerância de genótipos de mamoneira ao alumínio, verificaram que o alumínio ocasionou redução linear da área foliar e massa seca das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu.

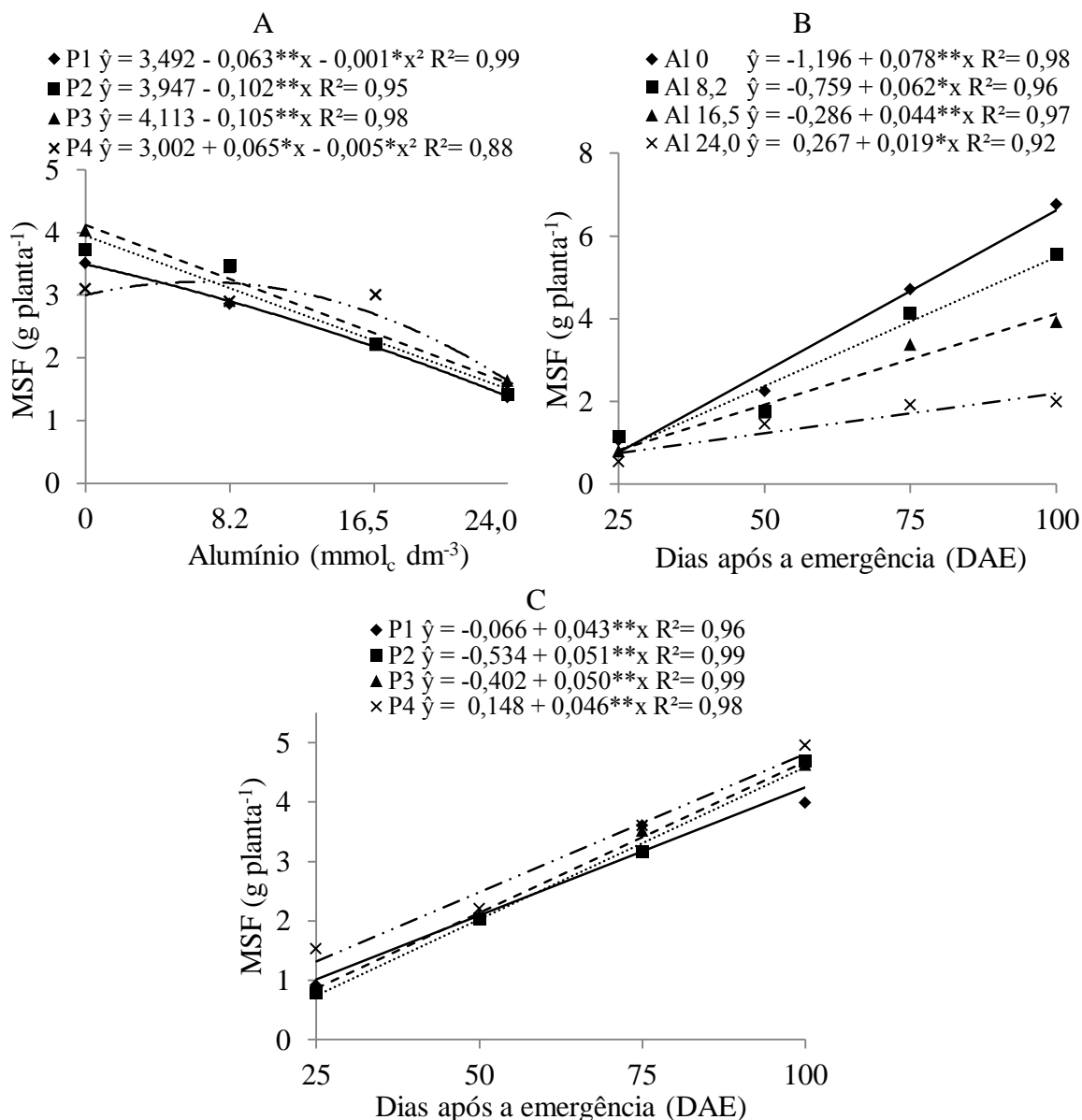


FIGURA 6. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

As plantas da procedência P1 apresentaram a maior massa seca de caule até o nível de $7,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo, já acima deste nível foi o da procedência P4 que apresentou maior massa seca de caule (Figura 7A). Avaliando o efeito do alumínio sobre a idade das plantas, verifica-se que não houve máximo acúmulo de massa seca de caule aos 100 dias embora tenha se mantido maior durante as avaliações nas plantas cultivadas sem adição de alumínio no solo (Figura 7B). Com relação às procedências, até os 75 dias a massa seca de caule foi maior nas plantas da procedência

P4, mas a partir dos 80 dias, as plantas da procedência P3 apresentaram os maiores valores (Figura 7C).

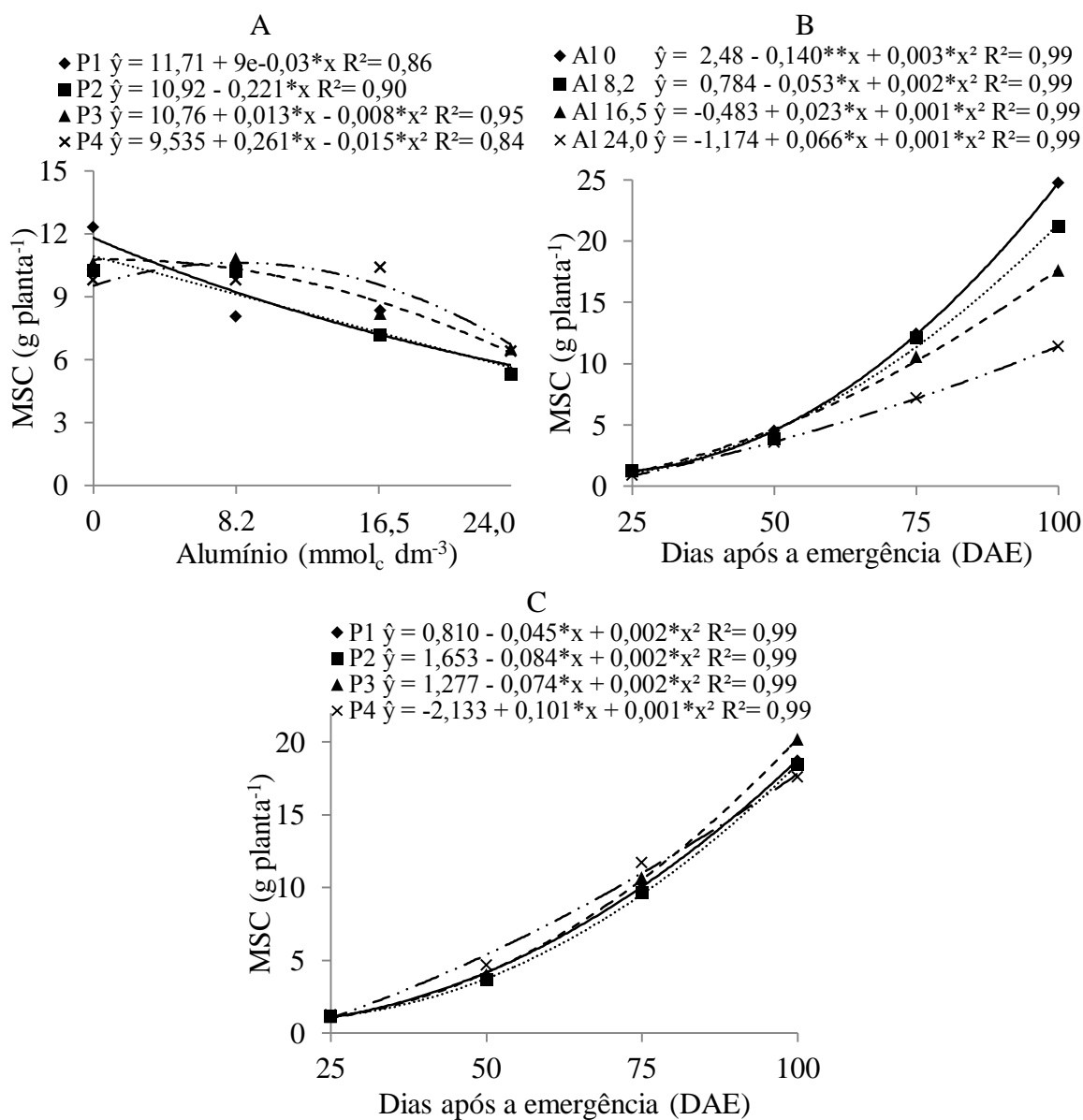


FIGURA 7. Massa seca de caule (MSC) das plantas de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

Para a massa seca de raiz, assim como foi observado para a massa seca de folha e caule, as plantas da procedência P4 apresentaram valores superiores nas condições de maior concentração de alumínio no solo, alcançando o valor máximo de 2,49 g no nível de 12 mmol_c dm⁻³ de alumínio (Figura 8A). Aos 100 dias dias após a emergência observou-se a maior massa seca de raiz nas condições de ausência de

alumínio no solo (Figura 8B), sendo que o valor para a procedência P4 foi superior aos demais genótipos (Figura 8C).

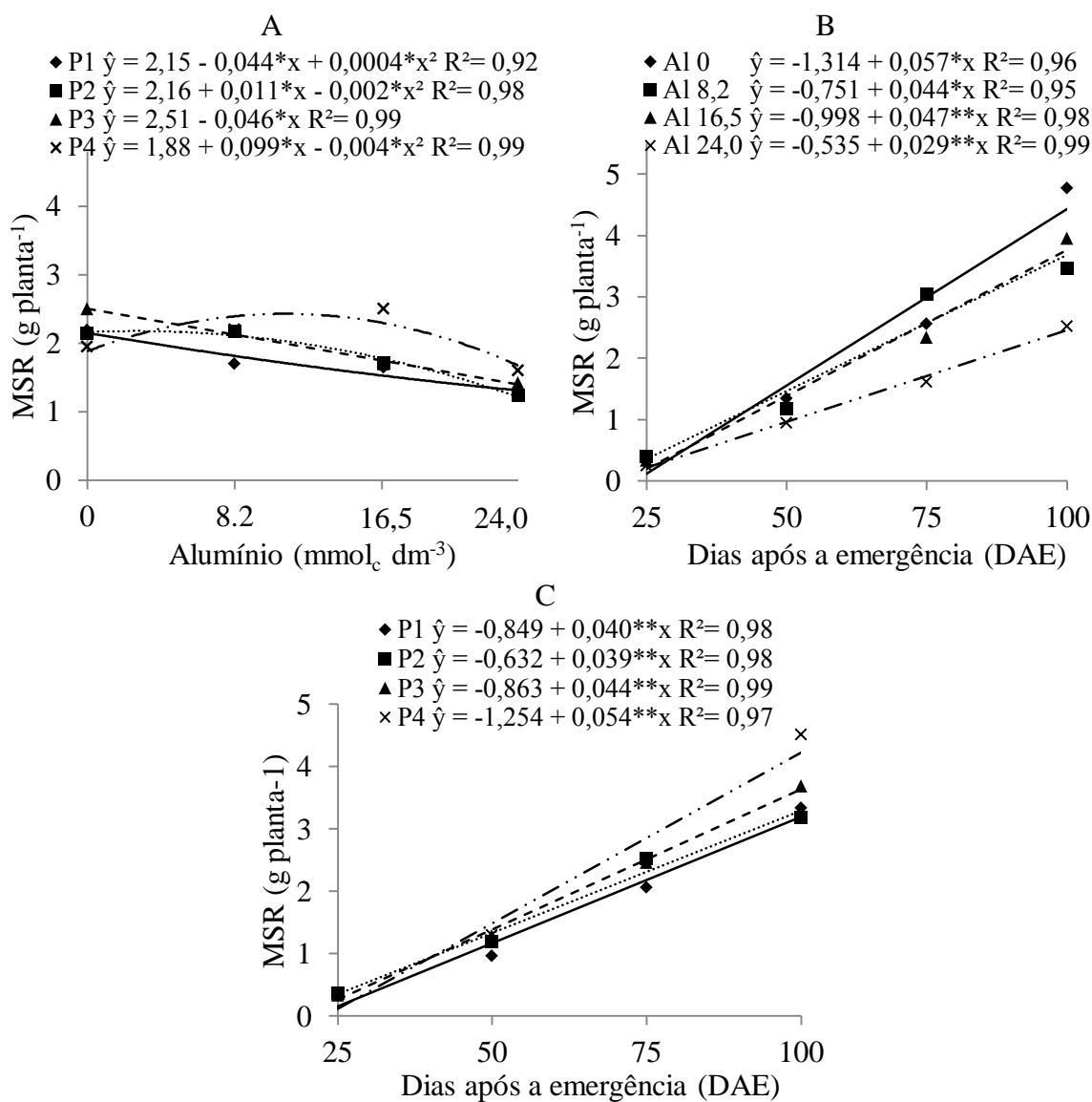


FIGURA 8. Massa seca de raiz (MSR) das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2007b) que observaram para o híbrido Lyra valores máximos de massa seca da parte aérea e raiz quando os teores de alumínio no solo foram de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Salvador et al. (2000) avaliando a influência do alumínio no crescimento de mudas de goiabeira, também observaram que as maiores massas secas de folha, caule, raiz e total foram obtidos na presença de até 10 mg L^{-1} de alumínio.

Os maiores valores para massa seca total foram observados nas plantas das procedências P1, P2 e P3 no solo com ausência de alumínio, porém, conforme aumentou os níveis de alumínio, houve uma redução linear da massa seca total destes genótipos (Figura 9A). Por outro lado, a maior massa seca da procedência P4 foi observada na presença de alumínio, alcançando o valor máximo de 16,29 cm no nível de 9 mmol_c dm⁻³ de alumínio (Figura 9A). Na análise de regressão para o fator tempo, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de massa seca total para os diferentes níveis de alumínio, sendo que os maiores valores foram observados no tratamento com 0 mmol_c dm⁻³ de alumínio (Figura 9B).

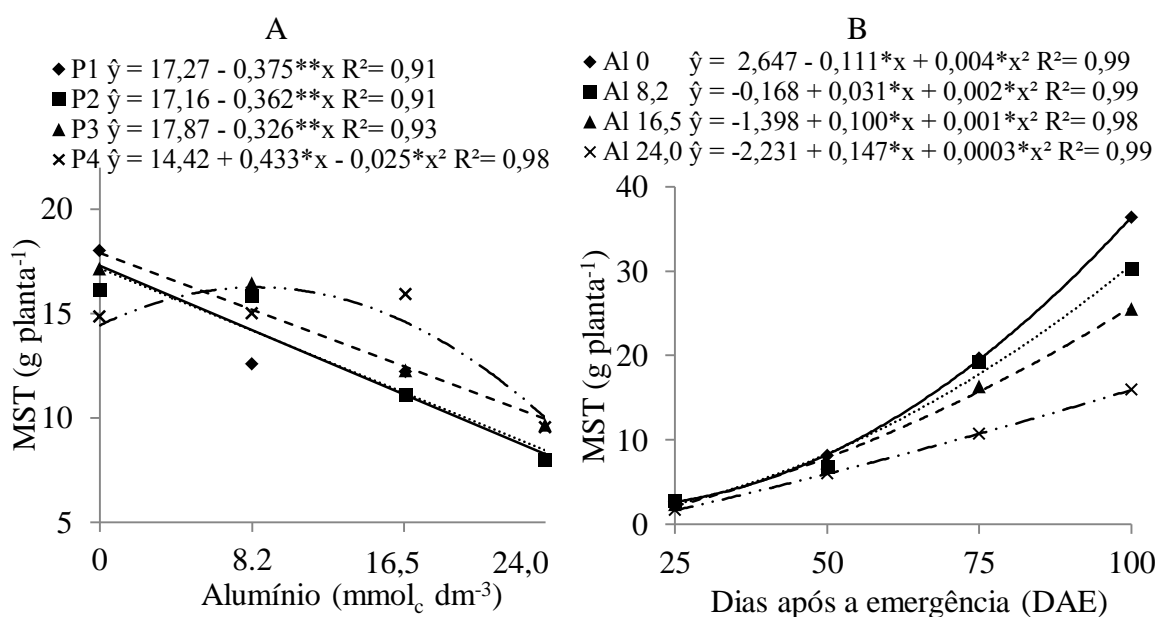


FIGURA 9. Massa seca total (MST) das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.

Desse modo é provável que as plantas das procedências P1, P2 e P3 estariam mais adaptadas a condições de baixo nível de alumínio, e quando submetida a concentrações mais elevadas a eficiência de absorção de água e nutrientes reduziu. Por outro lado, as plantas da procedência P4 apresentaram melhores resultados na presença do alumínio, o que pode ser uma indicação de menor sensibilidade desta procedência a ambientes com níveis tóxicos de alumínio ou uma maior eficiência na absorção e utilização de nutrientes, principalmente cálcio, magnésio e fósforo.

O comportamento da procedência P4 pode ser explicado pelos mecanismos fisiológicos de tolerância ao alumínio, mas que ainda não estão bem esclarecidos

(CARVALHO et al. , 2003). Estes autores relatam que as plantas tolerantes ao alumínio tem a capacidade de elevar o pH da solução do solo e, assim, aumentaria o pH próximo das raízes (rizosfera), diminuindo a solubilidade e a toxidez do alumínio. Outra forma de minimizar o efeito tóxico do alumínio é através da complexação por ácidos orgânicos (SILVA, 2008) que são mantidos inativos no citoplasma, nos vacúolos (TAYLOR, 1988), ou nas interações com calmodulina (GIANNAKOULA et al., 2008), prevenindo os seus efeitos negativos nos processos metabólicos.

Os resultados obtidos pela procedência P4 reforçam o que Szymanska e Molas (1996) observaram, indicando que concentrações baixas de alumínio podem até estimular o desenvolvimento inicial do vegetal. Para os autores, trabalhando com melão, a faixa onde houve o estímulo foi de 1 a 5 mg dm⁻³ (0,12 a 0,5 mmolc dm⁻³) de alumínio na solução. Em soja os autores observaram uma faixa de estímulo entre 0,25 e 1 mmolc dm⁻³. Na solução do solo, de um modo geral, a literatura aponta que menos de 5 mmolc dm⁻³ de alumínio não deve ser tóxico, 5-10 mmolc dm⁻³ é provavelmente tóxico e acima de 10 mmolc dm⁻³ tem alta probabilidade de ser, pois as espécies e os cultivares dentro da mesma espécie podem mostrar tolerância muito diferente à toxidez de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

Na cultura do arroz, estímulo ao crescimento radicular em função do alumínio tem sido detectado em baixas e mesmo em concentrações relativamente tóxicas beneficiando certos genótipos (VASCONCELOS et al., 2002). Os relatos destes autores concordam com Silva et al. (2011), que avaliando o sistema radicular de cultivares de arroz submetidas ao alumínio em solução nutritiva, verificaram que o nível crescente de alumínio proporcionou aumentos significativos em relação a massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea e na massa seca total. No entanto, a natureza dos efeitos benéficos do alumínio ainda é desconhecida, mas Huang e Bachelard (1993) citam que esse estímulo ao crescimento ocorre sob condições de estresse ao H⁺, concluindo que o alumínio minimiza a toxicidade do H⁺.

Apesar de o aumento dos níveis de alumínio ter refletido em maior razão raiz/parte aérea (Figura 3C), os valores para a razão da massa seca da parte aérea e raiz (RPAR) não tiveram o mesmo comportamento, o que pode ser evidenciado pela falta de efeito significativo (p>0,05) para a característica no fator níveis de alumínio (Anexo 4), na qual apresentou um valor médio de 6,02. Com relação ao tempo, os maiores valores de RPAR foram observados aos 100 dias após a emergência no nível de 8,2 mmolc dm⁻³

(Figura 10A) e para procedência P2 (Figura 10B), o que indica uma maior massa seca da parte aérea em relação ao das raízes.

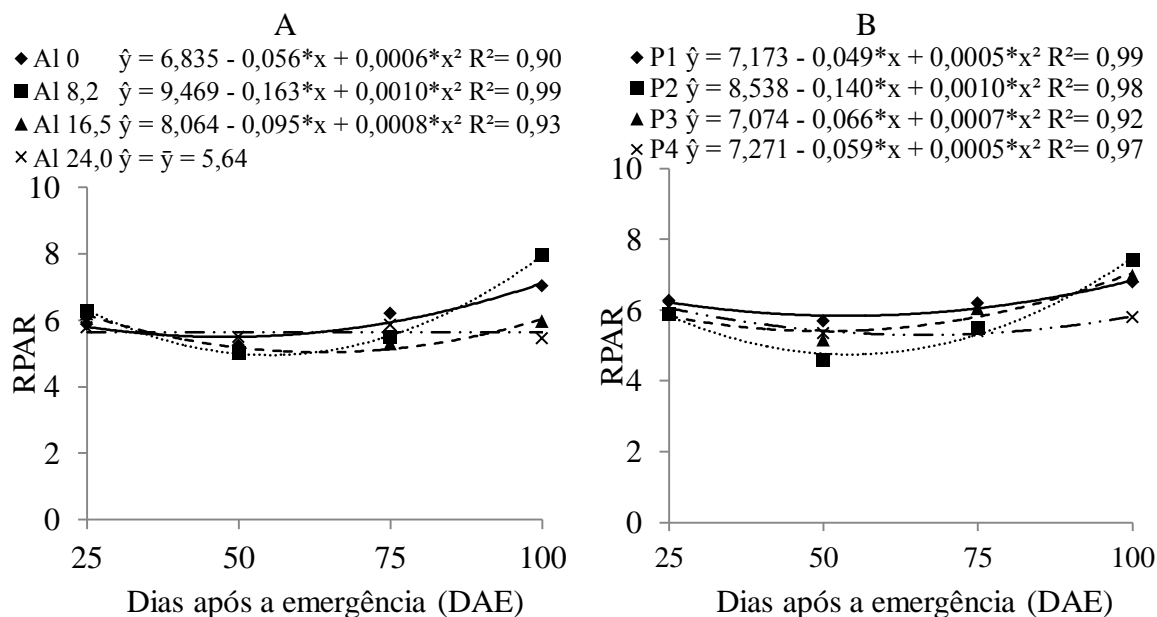


FIGURA 10. Razão massa seca da parte aérea/massa seca das raízes (RPAR) das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

Os valores superiores da relação RPAR sugerem que o crescimento do sistema radicular pode ser insuficiente (MARANA et al., 2008), e esse desequilíbrio pode prejudicar a sobrevivência das plantas, devido ao fato do sistema radicular ser pequeno, dificultando a absorção de água e a sustentação da planta no solo (LIMA et al., 2008). No entanto, os resultados obtidos para a procedência P2 podem ser reflexos da maior eficiência de absorção e utilização de nutrientes, o que minimizariam os efeitos do menor crescimento de raiz.

A razão de peso de folha (RPF) não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os fatores estudados. À medida que aumentou os níveis de alumínio, diminuiu o RPF (Figura 11A) semelhante ao observado para massa seca de folhas. Assim, essa redução indica menor alocação de fitomassa para as folhas, em detrimento das outras partes das plantas.

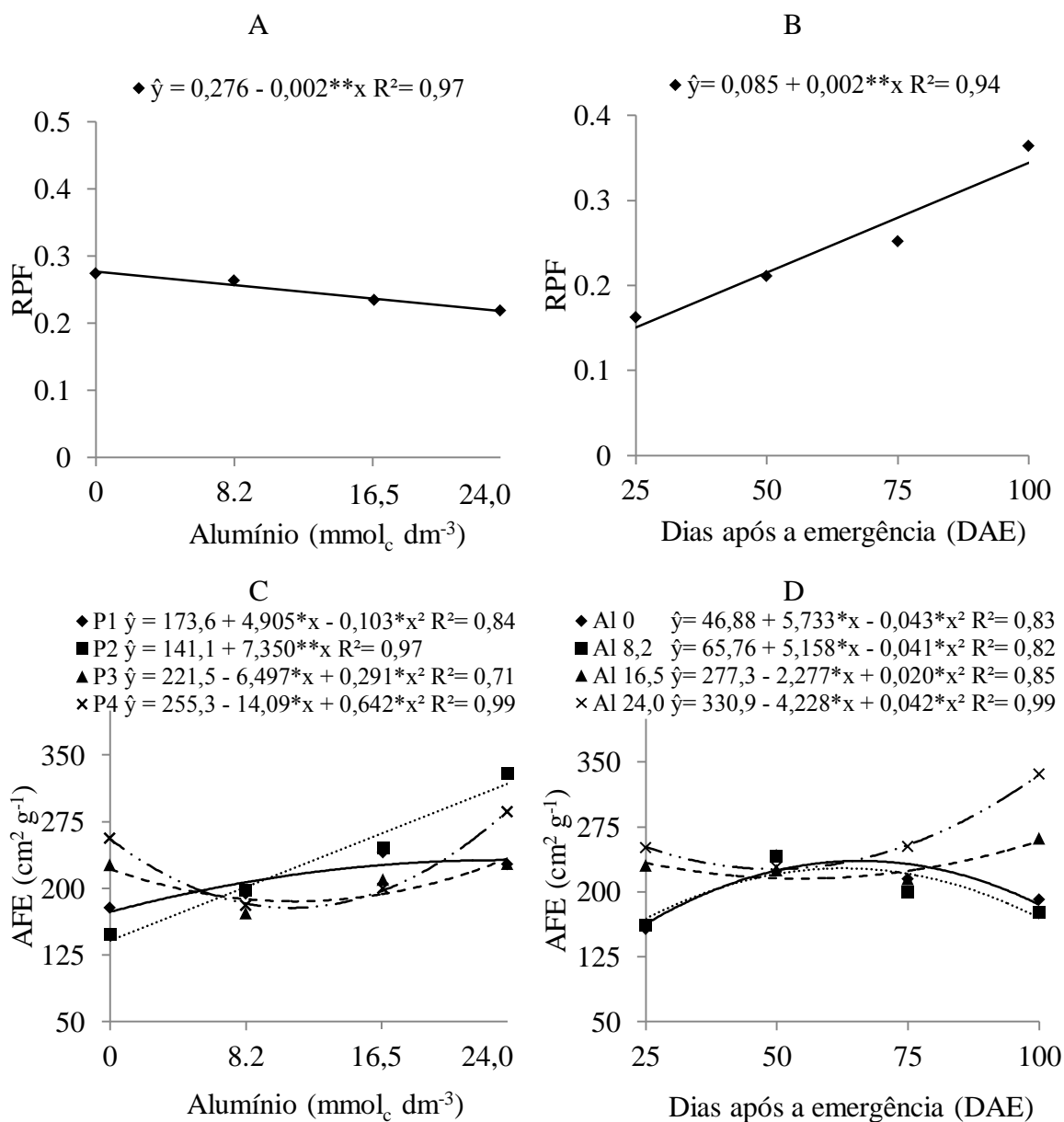


FIGURA 11. Razão massa seca das folhas/massa seca total (A-B) e razão da área foliar/massa seca das folhas (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

Verifica-se na Figura 11B que conforme aumentou a idade das plantas, maior foi o RPF. Considerando que as folhas são o centro de produção de matéria seca através da fotossíntese e, que o restante da planta depende da exportação dessa fitomassa, a RPF expressa a fração de massa seca não exportada (LIMA et al., 2007a). Com isso, observa-se que à medida que a planta cresce, maior é a fração de material

retido na folha, pois com o tempo verifica-se que houve um maior número de folhas e maior área foliar.

A área foliar específica (AFE) apresentou um comportamento bastante variável para os diferentes genótipos, com maior valor obtido pelas plantas da procedência P2 no maior nível de alumínio no solo (Figura 11C). A AFE também foi superior no tratamento com $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio aos 100 dias após a emergência (Figura 11D), indicando que nestas condições houve um maior aumento da área foliar em detrimento da massa seca das folhas.

Do mesmo modo, a Razão de área foliar (RAF) das plantas das procedências em resposta ao alumínio seguiu padrão de comportamento semelhante à AFE, sendo que o maior valor da razão foi apresentado pela procedência P2 no nível de $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio (Figura 12A). Em função da razão de área foliar (RAF) ser um componente morfofisiológico, pois é o quociente entre a área foliar (responsável pela interceptação da energia luminosa e absorção de CO_2) e a matéria seca total da planta (resultante da fotossíntese), os resultados indicam que nas condições de elevados níveis de alumínio a atividade fotossintética e, conseqüentemente a produção de fotoassimilados, por área foi prejudicada, ou seja, foi necessária uma maior área foliar para produzir um grama de massa seca.

Verificou-se que tanto para os níveis de alumínio (Figura 12B) quanto para as procedências (Figura 12C), houve uma redução linear da RAF ao longo do tempo. Com base na definição de Benicasa (2003) de que a RAF representa a unidade de área foliar usada pela planta para produzir uma unidade de peso de MS, essa redução no decorrer do tempo na RAF é negativa para a planta, pois reflete progressiva diminuição no aparelho fotossintético em relação ao crescente peso da planta, que, por sua vez, gera maior custo da respiração de manutenção (GOMIDE e GOMIDE, 1999).

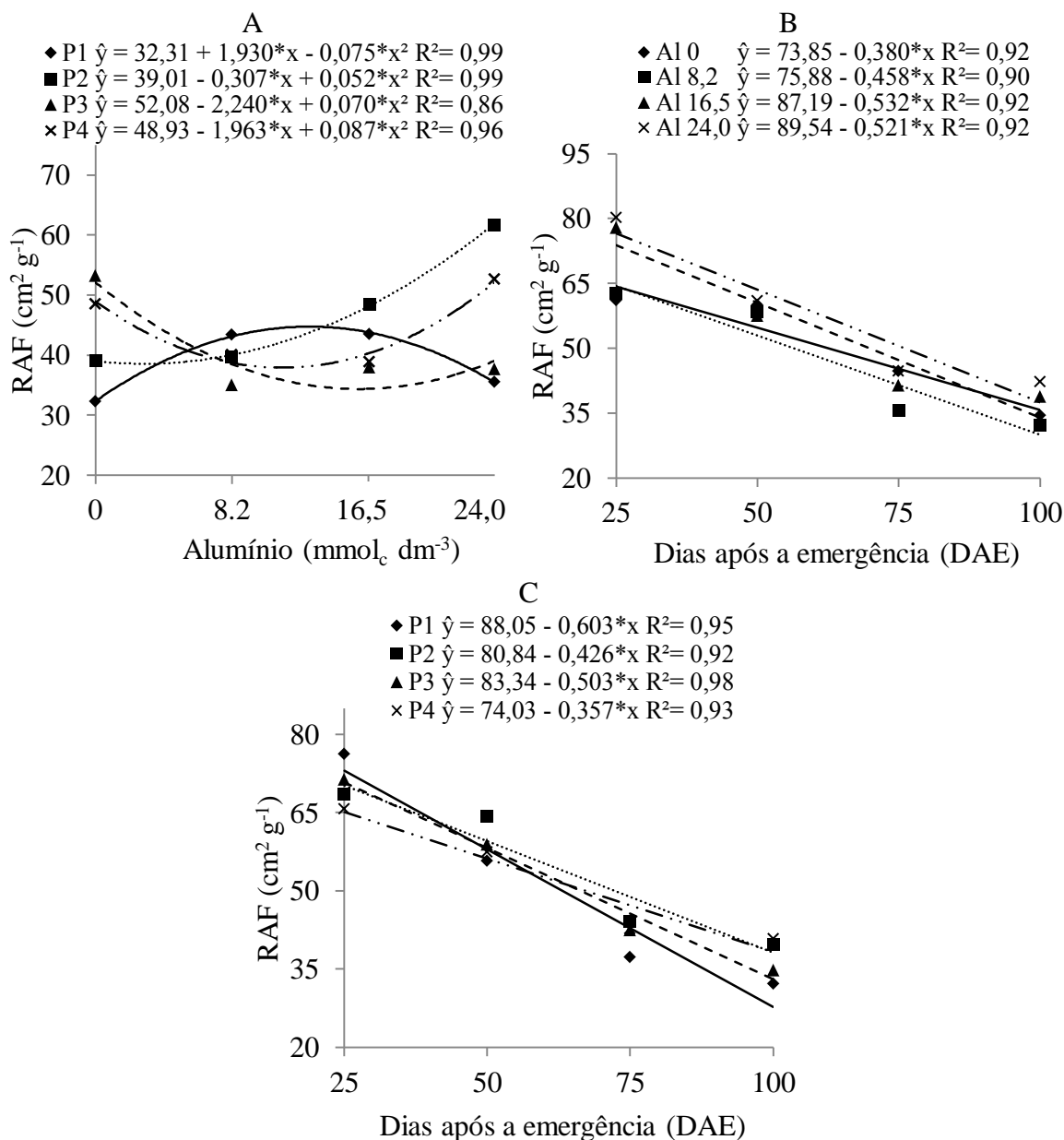


FIGURA 12. Razão aérea foliar/massa seca total (RAF) das plantas de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo, dias após a emergência e das diferentes procedências. Dourados, UFGD, 2012.

A RAF declina enquanto a planta cresce, em função do autossombreamento, com a tendência da diminuição da área foliar útil ou fotossinteticamente ativa (responde pela interceptação da radiação luminosa e captação do CO₂ na fotossíntese), para a produção de matéria seca. O quociente de área foliar varia com a área foliar específica (AFE) e a razão de massa de folha (RMF). Assim, qualquer variação em um deles, ou nos dois, implicará em alterações na RAF (BENICASA, 2003)

CONCLUSÕES

A emergência e o vigor das plântulas das procedências não foram afetadas pelos níveis de alumínio avaliados.

No decorrer do período avaliado o aumento dos níveis de alumínio no solo ocasionou a redução do crescimento e do acúmulo de massa seca das procedências P1-Dourados, P2-Montes Claros e P3-Alta Floresta.

A procedência P4-Petrolina apresentou menor sensibilidade ao alumínio, sendo que o volume radicular e a massa seca das plantas foram superiores nestas condições, sugerindo maiores estudos para esta procedência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. B.; RESENDE, M. D. V.; ANSELMO, J. L.; SATURNINO, H. M.; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B. Variabilidade genética entre acessos de pinhão-manso na fase juvenil. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 21, n. 1, p. 36-40, 2009.

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

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CALBO, A. G.; CAMBRAIA, J. Efeito do Al sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 27, p. 369-378, 1980.

CARVALHO, J. R. P.; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P.; KINJO, T. Resposta do feijoeiro a aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p.61-67, 2003.

CUSTÓDIO, C. C.; BOMFIM, D. C.; SATURNINO, S. M.; MACHADO NETO, N. B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 145-153, 2002.

DIVAKARA, B. N.; UPADHYAYA, H. D.; WANI, S. P.; GOWDA LAXMIPATHI, C. L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, Singapura, v. 87, p. 732-742, 2010.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 32 p.

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

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 675-680, 1999.

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

GUNATILLEKE, C. V. S.; GUNATILLEKE, I. A. U. N.; PERERA, G. A. D.; BURSLEN, D. F. R. P.; ASHTON, P. M. S.; ASHTON, P. S. Responses to nutrient addition among seedlings of eight closely related species of *Shorea* in Sri Lanka. **Journal of Ecology**, v. 85, p. 301-311. 1997.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHIMDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S. Mecanismos Associados a Tolerância ao Alumínio em Plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, p. 219-228, 2007.

HUANG, J. W.; BARCHELARD, E. P. Effects of aluminum on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 149, 121-127, 1993.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils: Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, n. 1, p. 459-493, 2004.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 2008. 610p.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 1068-1075, 2003.

LIMA, J. D.; SILVA, B. M. S.; MORAES, W. S.; DANTAS, V. A. V.; ALMEIDA, C. C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, 2007a.

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

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

MACEDO, C. M. P.; LOPES, J. C. Qualidade fisiológica de semente de café arábica na presença de alumínio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 66-73, 2008.

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

MAGUIRE, J. B. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

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

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MARIN, A.; SANTOS, D. M. M.; BANZATTO, D. A.; FERRAUDO, A. S. Germinação de sementes de guandu sob efeito da disponibilidade hídrica e de doses subletais de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.1, p. 13-24, 2004.

MERIGA B.; REDDY, B.K.; RAO, K.R.; REDDY, L. A.; KISHOR, P. B. K. Aluminum induced production of oxygen radicals, lipid peroxidation and DNA damage in seedlings of rice (*Oryza sativa*). **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 63-68, 2004.

NEVES, J. M. G.; SILVA, H. P.; BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; MARTINS, E. R.; NUNES, U. R. Padronização do teste de germinação para sementes de pinhão-manso. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 76-80, 2009.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. 189-253p.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK FILHO, J. C.; RIBAS, K. C. Z.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

RENGEL, Z.; ZHANG, W-H. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum toxicity syndrome. **New Phytologist**, Cambridge, v. 159, n. 2, p. 295-314, 2003.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 787-796, 2000.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1623-1631, 1998.

SILVA, J. B.; NAKAGAWA, J. Estudos de fórmulas para cálculo de velocidade de germinação. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 5, n. 1, p. 62-73, 1995.

SILVA, L. A. **Validação do efeito do gene AltSB que controla a tolerância ao alumínio em sorgo**. 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2008.

SILVA, L. M.; COSTA, N. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; VIEGAS, P. R. A. Sistema radicular de cultivares de arroz submetidas ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 13, p. 202-212, 2011.

SIMONOVICOVA, M.; HUTTOVA, J.; MISTRİK, I.; SIROKA, B.; TÁMAS, L. Root growth inhibition by aluminium is probably caused by cell death due to peroxidase mediated hydrogen peroxide production. **Protoplasma**, Wien, v. 224, p. 91-98, 2004.

SOUZA FILHO, A. S.; DUTRA, S. Germination of seeds of *Calopogonium mucunoides*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 20, p. 26-30, 1998.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, Cracovia, v. 8, p. 73- 83, 1996.

TABALDI, L. A. **Avaliação bioquímica-fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio**. 2008. 182p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminum tolerance. In: SIGEL, H.; SIGEL, A. (Eds.) **Metal Ions in Biological systems**. New York: Marcel Dekker, 1988. v. 24, p. 165-198.

TECCHIO, M. A.; PIRES, E. J. P.; GRASSI FILHO, H.; BRIZOLA, R. M. O.; VIEIRA, C. R. Y.; TERRA, M. M. Avaliação de variáveis fisiológicas em porta-enxertos de videira cultivados em solução nutritiva com a adição de alumínio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 274-283, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Sistema para análises estatísticas e genéticas - SAEG**. Versão 9.1. Viçosa, 2007. 142p.

VASCONCELOS, S. S.; ROSSIELLO, R. O. P.; JACOBÉ-NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p.357-363, 2002.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; DEVI, S. R.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. **Plant Physiology**, v. 128, p. 63–72, 2002.

CAPÍTULO II – TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE PROCEDÊNCIAS DE PINHÃO-MANSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ALUMÍNIO

Autor: Leandro Henrique de Sousa Mota

Orientadora: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

RESUMO

O alumínio em níveis tóxicos provoca danos bioquímicos e fisiológicos que inibem o crescimento da planta e limitam a produtividade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e a atividade enzimática de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio. O experimento foi desenvolvido em estufa na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), durante o período de Janeiro a Abril de 2012. A unidade experimental foi constituída de vasos com capacidade de 5,0 dm³ de solo, na qual foi utilizado como substrato solo coletado na profundidade de 80 a 100 cm. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo que para as avaliações das trocas gasosas e fluorescência o delineamento de tratamentos utilizado foi em esquema de parcelas subdivididas, na qual as parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de alumínio no solo (0,0; 8,2; 16,5 e 24,0 mmol_c dm⁻³), as subparcelas corresponderam as quatro procedências das sementes de pinhão-manso (P1 = Dourados-MS; P2= Montes Claros-MG; P3= Alta Floresta-MT; P4= Petrolina-PE), e as subsubparcelas consistiram nas 4 épocas de avaliação (25; 50; 75 e 100 dias após a emergência). Já para avaliação da curva OJIP da fluorescência da clorofila *a* e atividade enzimática os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, referentes aos quatro níveis de alumínio no solo e as quatro procedências de pinhão-manso, sendo utilizado seis leituras para a curva OJIP e três repetições para a análise enzimática. Os diferentes níveis de alumínio no solo foram obtidos a partir da correção do solo inicial, que apresentava uma concentração de alumínio de 24,0 mmol_c dm⁻³. As características relacionadas às trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e atividade enzimática tiveram efeito significativo para o fator alumínio. A taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática reduziram conforme se aumentou os níveis de alumínio. As características da fluorescência da clorofila *a* indicam o efeito danoso do estresse de alumínio, sendo que através do teste OJIP pode-se verificar redução da eficiência fotoquímica. A atividade das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase foram superiores na presença do alumínio para as procedências P3-Alta Floresta e P4-Petrolina, no qual este resultado somado às respostas obtidas para as demais características fisiológicas indicam maior tolerância destes genótipos às condições de estresse de alumínio.

Palavras chave: *Jatropha curcas* L., estresse de alumínio, fotossíntese, eficiência quântica do fotossistema II e enzimas antioxidantes

CHAPTER II - GAS EXCHANGE, CHLOROPHYLL FLUORESCENCE *a* AND ENZYMATIC ACTIVITY OF PROVENANCES OF PHYSIC-NUT AT DIFFERENT LEVELS OF ALUMINIUM

Author: Leandro Henrique de Sousa Mota

Adviser: Dr^a Silvana de Paula Quintão Scalon

ABSTRACT

The aluminum toxic levels of biochemical and physiological causes damage which inhibit plant growth and limit productivity. This study aimed to evaluate the gas exchange, chlorophyll fluorescence *a* and enzyme activity of provenances of physic-nut (*Jatropha curcas* L.) at different levels of aluminum. The experiment was conducted in a greenhouse in the Faculty of Agrarian Sciences (FCA) University Federal of Grande Dourados (UFGD) during the period January to April 2012. The experimental unit consisted of vase with a capacity of 5.0 dm³ of soil, which was used as substrate soil collected at a depth of 80 to 100 cm. The treatments were arranged in a completely randomized (DIC), and for evaluations of gas exchange and chlorophyll fluorescence *a* delineation of treatments were used in split-plot design in which the treatments in plot were four levels of aluminum (0.0, 8.2, 16.5 and 24.0 mmol dm⁻³), the subplots consisted of four provenances of physic nut seeds (P1 = Dourados-MS; P2 = Montes Claros-MG; P3 = Alta Floresta -MT; P4 = Petrolina-PE), and the subsubplots consisted in the 4 times (25, 50, 75 and 100 days after emergence). As for evaluations of OJIP curve of chlorophyll fluorescence *a* and enzyme activity treatments were arranged in a 4 x 4 factorial, referring to the four levels of aluminum in the soil and the four provenances of physic nut seeds, being used six measurements for curve OJIP and three replicates for enzymatic analysis. The different levels of aluminum were obtained from the initial soil amendment, which had an aluminum concentration of 24.0 mmol dm⁻³. The characteristics related gas exchange, chlorophyll fluorescence *a* and enzyme activity had a significant effect for the factor aluminum. The photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration is reduced as increased levels of aluminum. The characteristics of chlorophyll fluorescence to indicate the detrimental effect of aluminum stress, and through the curve OJIP can verify reduction photochemical efficiency. The activity of enzymes catalase, peroxidase and superoxide dismutase were higher in the presence of aluminum for the provenances P3-Alta Floresta and P4-Petrolina, in which this result added to the responses to growth and other physiological characteristics indicate greater tolerance of these genotypes conditions of aluminum stress.

Keywords: *Jatropha curcas* L., aluminum stress, photosynthesis, quantum efficiency of photosystem II and antioxidant enzymes

INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta oleaginosa e faz parte da família das Euforbiáceas, tem alto potencial produtivo e bem adaptada as diversas regiões, sendo apontado como uma importante alternativa para fornecimento de óleo para fabricação de biodiesel. O cultivo do pinhão tem-se expandido para a região do Cerrado onde o solo apresenta problemas na fertilidade e acidez elevada, que favorece a disponibilidade de alumínio em níveis que podem ser tóxicos para as plantas (KONRAD et al., 2005).

Os danos do alumínio sobre o crescimento das plantas podem ocorrer de forma secundária, sendo que esta redução pode ser resultante da diminuição da atividade fotossintética, que por sua vez pode estar relacionada tanto com fatores estomáticos como não estomáticos. Em algumas espécies, observou-se que a toxidez do alumínio causa queda na condutância estomática e nas reações bioquímicas de fixação de CO₂ (PEIXOTO et al., 2002; KONRAD et al., 2005). O alumínio também causa injúrias na formação e na função do cloroplasto (MOUSTAKA et al., 1996), afetando as membranas do tilacóide e o transporte de elétrons (PEIXOTO et al., 2002).

Apesar das medidas de trocas gasosas reguladas pelo movimento estomático serem importantes para determinar as taxas fotossintéticas, podem não ser tão eficientes para avaliar os efeitos deletérios nos cloroplastos (DURÃES, 2005). A redução que ocorre na atividade fotossintética devido à toxidez de alumínio é resultado da inibição da atividade do fotossistema II e que também leva a uma diminuição da variável fluorescência da clorofila (CAMEJO et al., 2005).

A fluorescência é uma das três vias de dissipação de energia, que consiste na pequena fração de energia dissipada na forma de luz pelas moléculas de clorofila que pode ser alterada por diversos fatores incluindo condições sub ótimas de desenvolvimento das plantas (STRASSER et al., 2004). Com isso, esse parâmetro tem se mostrado sensível e um método confiável para a avaliação da eficiência fotoquímica da fotossíntese, e detecção e quantificação de mudanças induzidas por estresses ambientais diversos no aparato fotossintético vegetal (CAMEJO et al., 2005).

O rendimento da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para

estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). A intensidade da fotoinibição pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica do fotossistema II (relação F_v/F_m), onde comumente, esta característica da fluorescência é usada como indicador de estresse, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a sua funcionalidade (DIAS e MARENCO, 2007), como no caso da fotoinibição. Além disso, a fluorescência possibilita a análise de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons, sendo possíveis também estudos das mudanças conformacionais dos tilacóides (COSTA et al., 2003).

Com relação ao comportamento fisiológico das espécies em condições estressantes, verificam-se respostas diferenciais da taxa de assimilação líquida de CO_2 e de variáveis relacionadas à fluorescência da clorofila em função do grau de tolerância ao alumínio. A fotossíntese em espécies ou cultivares tolerantes é menos afetada, pois genótipos podem apresentar estratégias de ajuste do aparelho fotossintético em função do tempo de duração do estresse (PEIXOTO et al., 2002). Além disso, a análise do potencial fotossintético de uma planta e suas relações com o ambiente em que estão crescendo e se desenvolvendo permite a ampliação dos conhecimentos sobre sua adaptabilidade às condições de cultivo e à maximização do seu potencial produtivo.

O alumínio em níveis tóxicos também é um fator de estresse para as plantas e induz a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) em células vegetais. Em condições normais, a produção e a destruição destes radicais é regulada pelo metabolismo celular. Estes ROS podem atacar as membranas, proteínas e ácidos nucléicos causando peroxidação lipídica, desnaturação de proteínas e mutação do DNA (SCHÜTZENDÜBEL e POLLE, 2002). Para evitar os efeitos prejudiciais de ROS, os organismos desenvolveram mecanismos de desintoxicação múltiplos, incluindo a síntese de moléculas antioxidantes (ácido ascórbico, glutatona e carotenóides) e os sistemas enzimáticos, como a superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase.

Neste sentido, objetivou-se no presente trabalho avaliar as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e a atividade enzimática de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes níveis de alumínio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa, sob cobertura de polietileno de baixa densidade, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados-MS, durante o período de Janeiro a Abril de 2012. O local de condução do experimento se localiza nas coordenadas de latitude 22° 11' 45" S, longitude de 54° 55' 18" W e com 446 metros de altitude. O clima da região é classificado como do tipo Cwa (Köppen), ou seja, clima mesotérmico úmido com verões quentes e invernos secos (FIETZ e FISCH, 2006). Durante o período experimental as condições ambientais mínimos, médios e máximos da temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa, foram monitoradas diariamente com auxílio de termohigrômetro (Figura 1).

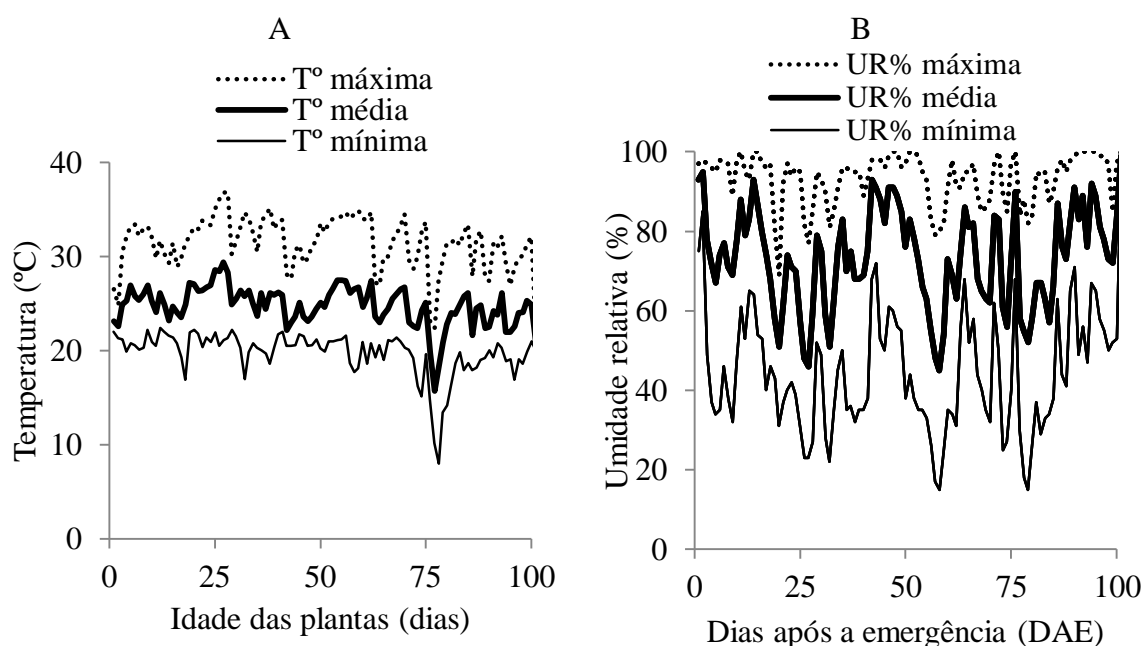


FIGURA 1. Dados climáticos mínimos, médios e máximos da temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) em estufa durante o período do experimento. Dourados, UFGD, 2012.

A unidade experimental foi constituída de plantas que se encontravam em vasos com capacidade de 5,0 dm³ de solo, que após a coleta foi seco ao ar e peneirado em malha de 5 mm para eliminação dos torrões. O solo utilizado no presente estudo é

classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa, o qual foi coletado na profundidade de 80 a 100 cm, em uma área de pousio localizada próximo a área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias.

O delineamento experimental adotado na condução do experimento foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo que os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, na qual as parcelas foram constituídas pelos quatro níveis de alumínio no solo (0,0; 8,2; 16,5 e 24,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), as subparcelas corresponderam as quatro procedências das sementes de pinhão-manso (P1 = Dourados-MS; P2= Montes Claros-MG; P3= Alta Floresta-MT; P4= Petrolina-PE), e as subsubparcelas consistiram nas 4 épocas de avaliação (25; 50; 75 e 100 dias após a emergência), com três repetições para cada tratamento, totalizando 192 vasos. Já na avaliação para obter a curva OJIP da fluorescência da clorofila *a*, os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 4, referentes aos quatro níveis de alumínio no solo e as quatro procedências de pinhão-manso, com três repetições.

Os diferentes níveis de alumínio no solo foram obtidos a partir da correção do solo inicial (Al 1), que apresentava uma concentração de alumínio de 24,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$. A correção foi realizada através do uso de calcário "filler" (Quadro 1), visando elevar a saturação por bases do solo para 33,3 (Al 2), 56,6 (Al 3) e 80% (Al 4), cujas doses de calcário corresponderam a 0,48, 0,97 e 1,65 g kg^{-1} de solo, respectivamente. Para o cálculo da necessidade de corretivo, utilizou-se o método da saturação por bases (RAIJ et al., 1997).

QUADRO 1. Composição do calcário "filler" utilizado no experimento

Descrição	%
Soma de óxidos	50,5
Óxidos de cálcio	28
Óxidos de magnésio	22,5
Poder de neutralização	103
PRNT Total	100,1
Peneira ABNT 10 2mm	100
Peneira ABNT 20 0,84mm	98
Peneira ABNT 50 0,30mm	95
Natureza física	pó

Na incorporação do calcário, o solo de cada vaso juntamente com o calcário foram colocados em saco plástico com capacidade de 20 litros, inflados com ar e

agitados vigorosamente por um minuto. Em seguida, o solo foi umedecido com água de modo a ocupar aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água (CRA). O período de incubação foi de 30 dias, sendo que os sacos tiveram as entradas parcialmente fechadas para reduzir a perda de água por evaporação. A cada 10 dias, os solos foram revolvidos para dissipar o CO₂ liberado pela reação do calcário e a umidade era repostada até o nível de 80% CRA.

Ao final da incubação amostras dos solos Al 2, Al 3 e Al 4 foram submetidos a análise química (Quadro 2) e verificou-se uma concentração de alumínio de 16,5, 8,2 e 0,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente, na qual juntamente com o solo inicial Al 1 (24,0 mmol_c dm⁻³) formaram as parcelas do experimento. Os valores iniciais (Al 1) referentes à análise química e granulométrica do solo são apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2. Valores referentes à análise química e granulométrica do solo inicial (Al 1) e após a correção visando uma saturação de bases de 33,3 (Al 2), 56,6 (Al 3) e 80% (Al 4)

Característica	Al 1	Al 2	Al 3	Al 4
Química				
Al (mmol _c dm ⁻³)	24,00	16,50	8,20	0,00
m%	82,64	41,56	17,75	0,00
pH em CaCl ₂	4,20	4,71	5,04	5,37
pH em água	4,83	5,03	5,36	5,72
M.O. (g dm ³)	6,30	6,30	6,30	6,30
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	44,8	36,0	27,0	20,0
Característica		Valores		
Granulométrica				
Argila (%)	69,50			
Silte (%)	23,02			
Areia (%)	7,48			

A adubação foi realizada após a incubação, sendo que o solo de cada vaso foi novamente seco ao ar e receberam o fósforo, e novamente foi realizada a agitação para a incorporação do fosfato. Na sequência, o solo de cada vaso recebeu a adubação de sementeira com os demais macro e micronutrientes, segundo recomendação para o cultivo em ambientes controlados descrita em Novais et al. (1991), em que as quantidades dos nutrientes e as fontes estão apresentadas no Quadro 3. O nitrogênio e o potássio foram aplicados na sementeira, na dose de apenas 50% daquela apresentada no Quadro 3, sendo que o restante foi aplicado aos 30 dias após a sementeira. Na homogeneização das fontes de nutrientes quanto ao tamanho de partículas, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio foram triturados e passados através da peneira de 0,84 mm de abertura.

As sementes das procedências utilizadas no experimento foram obtidas na safra 2010/2011 e cedidas pela Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados-MS. Foi determinado o grau de umidade das sementes, realizado pelo método da estufa a $105^{\circ}\text{C}\pm 3$, durante 24h, de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009), utilizando-se duas repetições de 10 sementes. As sementes do pinhão-mansão apresentaram um grau de umidade (base úmida) de 8,2, 8,5, 8,3 e 8,6% para as procedências P1, P2, P3 e P4, respectivamente. Portanto, as mesmas se encontravam secas e com grau de umidade abaixo de 10%, compatível com valores de sementes ricas em lipídios (NEVES et al., 2009). Na instalação do experimento, efetuou-se uma triagem manual para padronização do tamanho e estado de conservação das sementes.

A semeadura das quatro procedências foi realizada logo após a adubação, sendo colocadas oito sementes por vaso em uma profundidade de três centímetros. O desbaste foi realizado no 12º dia após a semeadura, mantendo-se duas plantas por vaso. Os vasos foram mantidos com a mesma umidade, 80% da capacidade de campo, durante todo o experimento, com reposição da água evapotranspirada mediante a diferença da pesagem diária dos vasos, tendo sua massa aferida numa balança de prato instalada no local do experimento.

QUADRO 3. Nutrientes, concentrações requeridas, fontes e quantidades das mesmas, utilizadas na adubação básica do solo em experimento realizado em estufa

Tipo	Concentração (mg kg^{-1})	Nutriente		Quantidade da fonte (mg kg^{-1} solo)
			Fonte	
N	200		Uréia - $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (45%N)	368,49
			Sulfato de Amônio - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21%N e 24%S)	162,76
P	300		Superfosfato Triplo - $10\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)\text{H}_2\text{O}$ (18,4%P)	1635,71
K	150		Cloreto de Potássio - KCl (49,8%K)	301,00
S	40		Sulfatos NH_4 , Cu, Fe e Zn	-
B	0,81		Ácido bórico - H_3BO_3 (17%B)	4,76
Cu	1,33		Sulfato de Cobre* - $\text{CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O}$ (25%Cu e 13%S)	5,32
			Sulfato Ferroso* - $\text{FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$ (19%Fe e 12%S)	8,16
Mn	3,66		Cloreto de Manganês* - $\text{MnCl}_2.4\text{H}_2\text{O}$ (27,8 %Mn)	13,18
Mo	0,15		Molibdato de sódio* - $\text{NaMoO}_4.2\text{H}_2\text{O}$ (39%Mo)	0,38
Zn	4,00		Sulfato de Zinco* - $\text{ZnSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$ (21%Zn e 11%S)	19,05

Novais et al. (1991), modificado.

* Reagentes p.a.

As avaliações do experimento foram realizadas a cada 25 dias após a emergência (25, 50, 75 e 100 dias). As medidas de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas em folhas completamente expandidas na região intermediária do ramo caulinar, na qual os dados foram obtidos por meio de fluorômetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). Foram medidas a fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m) e a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m). Além disso, com as medidas dessas características foi calculado a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$) e estimada a razão F_v/F_o (PEREIRA et al., 2000). A determinação da fluorescência foi realizada entre 8 e 11h da manhã, na qual as folhas foram submetidas a um período de 30 minutos de adaptação ao escuro com o auxílio de cliques adaptadores, para que todos os centros de reação nessa região foliar adquirissem a condição de “aberto”, ou seja, oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

Na avaliação aos 100 dias após a emergência, além da avaliação das características F_o , F_m e F_v/F_m da fluorescência, também foi determinado a curva OJIP da fluorescência transiente da clorofila *a*. O transiente OJIP é uma ferramenta de análise da mudança na cinética da fluorescência da clorofila *a* que fornece informações detalhadas sobre a estrutura e função do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (GONÇALVES et al., 2010). A fase (O-J) corresponde a uma redução completa do principal receptor de elétrons do fotossistema II (quinona). A fase (J-I) corresponde à transferência de elétrons de Q_a para Q_b , e a fase (I-P) corresponde à liberação da fluorescência (ABBASPOOR e STREIBIG, 2005).

A determinação do índice de clorofila foi realizada por meio de leituras com o clorofilômetro da marca Minolta, modelo SPAD 502. As leituras foram realizadas em folhas situadas no terço médio da planta, sendo determinado em três pontos situados no meio da folha amostrada, e a 2 cm de uma das margens da folha (ARGENTA et al., 2001).

Nas avaliações das trocas gasosas e eficiência fotossintética foram avaliadas as seguintes características: taxa fotossintética (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (G_s) e concentração interna de CO_2 (C_i). As medidas foram realizadas utilizando-se analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11h, amostrando-se folhas completamente expandidas e localizadas no terço médio do caule, sendo considerado apenas os dados

medidos quando o fluxo fotossintético de fótons (FFF) era maior que $700 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, isto é, quando em níveis saturantes para a fotossíntese. A partir dos dados de trocas gasosas foram calculadas as seguintes relações: eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso de água (A/Gs) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) (ZHANG et al., 2001).

No estudo para avaliar os possíveis sinais de estresse nas plantas determinou-se aos 100 dias as atividades das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase por meio de extratos obtidos a partir da homogeneização de 1 g de folhas ou raízes de cada tratamento, fragmentadas em almofariz, inicialmente na presença de nitrogênio líquido. Em seguida adicionaram-se 2 mL de solução de extração, constituída de EDTA 0,1M em tampão de fosfato de potássio 0,1 M, pH 6,8, contendo 20 mg de PVP (Polivinil Polipirrolidona), procedendo-se uma nova homogeneização. O homogeneizado foi centrifugado por 20 minutos a 4000 rpm e o sobrenadante coletado foi utilizado nas avaliações enzimáticas.

A atividade da catalase nas folhas e raízes foi determinada após a adição de 100 μL do extrato enzimático bruto a 0,9 mL do meio de reação, constituído de H_2O_2 12,5 mM em tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 a 30 °C. A atividade da enzima foi determinada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm, utilizando-se para os cálculos o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995).

A atividade da peroxidase nas folhas e raízes foi determinada em alíquotas de 100 μL do extrato enzimático bruto, diluído para 1:25 (v:v) com solução de extração. Adicionaram-se 0,9 ml de uma mistura de reação contendo tampão fosfato de potássio 25 mM, pH 6,8, acrescida do pirogalol 20 mM e H_2O_2 . O aumento na absorbância da solução foi lida a 420 nm, utilizando-se para os cálculos, o coeficiente de extinção molar de $2,47 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (MACEDO et al., 2005).

Na determinação da atividade da superóxido dismutase nas folhas e raízes adicionaram-se 50 μL de extrato enzimático diluído para 1:5 (v:v) com solução de extração à mistura de reação, constituída de metionina 13 mM, azul de p-nitro tetrazólio (NBT) 75 μM , EDTA 100 mM e riboflavina 2 μM , em tampão de fosfato de sódio 50 mM, pH 7,8 (DEL LONGO et al., 1993). A reação foi conduzida a 25°C em câmara de reação, sob a iluminação de duas lâmpadas fluorescentes de 15 W. A reação foi iniciada pelo acendimento das lâmpadas e, após 15 minutos, interrompida pelo desligamento das mesmas (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). A produção de formazana azul, resultante

da foto-redução do NBT, foi medida pela determinação do incremento na absorbância a 560 nm, que foi subtraída de um “branco”, no qual a mistura de reação foi mantida no escuro (BEAUCHAMP e FRIDOVICH, 1971).

Os resultados obtidos para índice de clorofila, trocas gasosas, fluorescência (F_o , F_v , F_m , F_v/F_m e F_v/F_o) e atividade das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase foram submetidos ao teste de normalidade (Teste de Lilliefors) e homogeneidade (Teste de Bartlett), para efeito de análise de variância das características estudadas. Em seguida, os dados foram analisados estatisticamente, por meio da Análise da Variância e ao teste F a 5% de probabilidade e havendo efeito estatisticamente significativo as médias das procedências foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias dos níveis de alumínio, idade das plantas e as interações entre os fatores foram ajustados por meio da análise de regressão, até o nível de 5% de probabilidade. Os dados foram analisados com o auxílio do programa estatístico SAEG 9.1 (UFV, 2007). Já a análise da curva OJIP da fluorescência dos tratamentos foi realizada através da comparação entre as médias das curvas dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fluorescência inicial (F_o) não teve interação significativa entre os fatores estudados (Anexo 6), porém, houve um crescimento linear conforme se elevou os níveis de alumínio no solo (Figura 2A). Com relação ao tempo, observou-se que a F_o reduziu com o passar das avaliações (Figura 2B).

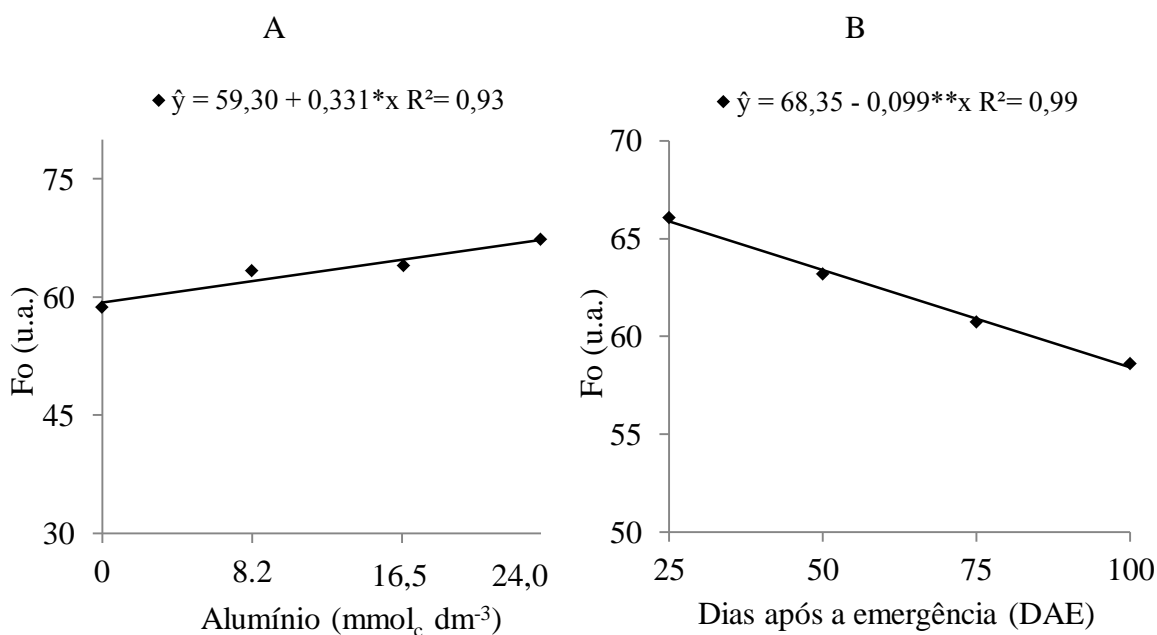


FIGURA 2. Fluorescência inicial (F_o) das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.

A F_o é a fluorescência quando a quinona A (receptora primária de elétrons do FSII) está totalmente oxidada e o centro de reação do FSII está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas. O aumento de F_o , que portanto é independente dos eventos fotoquímicos, reflete destruição do centro de reação do FSII ou diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (BAKER e ROSENQVST, 2004).

Desta forma, espera-se que sob condições normais, com o centro de reação atuando perfeitamente (ausência de danos) exista um maior fluxo energético entre o

complexo antena e o centro de reação, resultando dessa maneira em menores valores de fluorescência inicial como observado para cultivares de café submetidas ao estresse de alumínio, nas quais verificou-se uma F_0 nas plantas em média 1,93 vezes menor quando comparadas às plantas presentes no ambiente com alumínio (KONRAD et al., 2005).

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio, procedências e idade das plantas para as características fluorescência variável e fluorescência máxima. No entanto, a fluorescência variável (F_v) apresentou uma redução nos níveis acima de $6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio (Figura 3A). Na análise de regressão para o fator tempo, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de F_v , sendo que o valor máximo foi observado aos 60 dias após a emergência (Figura 3B).

Na Figura 3C verifica-se uma redução linear da fluorescência máxima (F_m) à medida que se elevou o nível de alumínio no solo. Já com relação ao tempo, observa-se que o valor máximo foi obtido aos 60 dias após a emergência (Figura 3D). A F_m indica a intensidade máxima de fluorescência que ocorre quando praticamente toda a quinona está reduzida e os centros de reação são incapazes de aumentar as reações fotoquímicas, atingindo sua capacidade máxima (BAKER e ROSENQVST, 2004).

As reduções de fluorescência máxima em função do aumento dos níveis de alumínio no solo caracterizam de uma maneira geral a deficiência de fotorredução da quinona A, principal aceptor de elétrons do fotossistema II, e responsável pela continuidade do fluxo eletrônico da cadeia transportadora entre os fotossistemas, assim, nessas condições de deficiência de fotorredução da quinona A, o fluxo de elétrons entre os fotossistemas é diretamente afetado (SILVA et al., 2006), resultando em baixas taxas de fotossíntese pela diminuição da atividade enzimática e resultando em baixa taxa de energia.

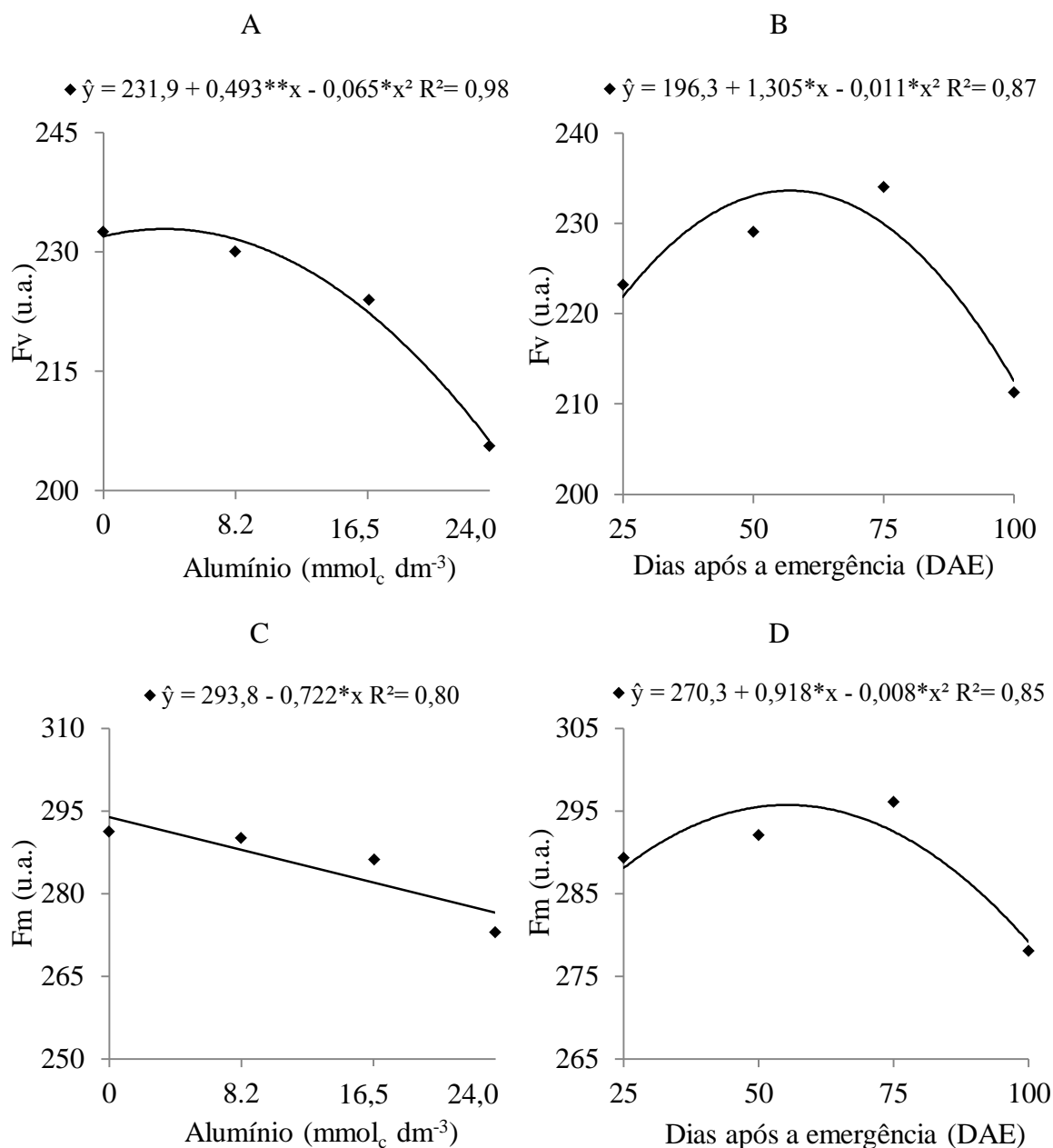


FIGURA 3. Fluorescência variável (A-B) e fluorescência máxima (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

A eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) das plantas de pinhão-mansó decresceu linearmente com a presença do alumínio (Figura 4A). Por outro lado, não houve efeito significativo para o fator tempo, sendo o valor estimado das variáveis dependentes igual à média aritmética obtida no ensaio que foi de 0,78 (Figura 4B). A razão Fv/Fm é uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII, quando todos os centros de reação do FSII estão abertos

(BAKER e ROSENQVST, 2004). Essa relação tem sido utilizada frequentemente para detectar perturbações no sistema fotossintético causada por estresses ambientais e bióticos, visto que a diminuição indica inibição da atividade fotoquímica.

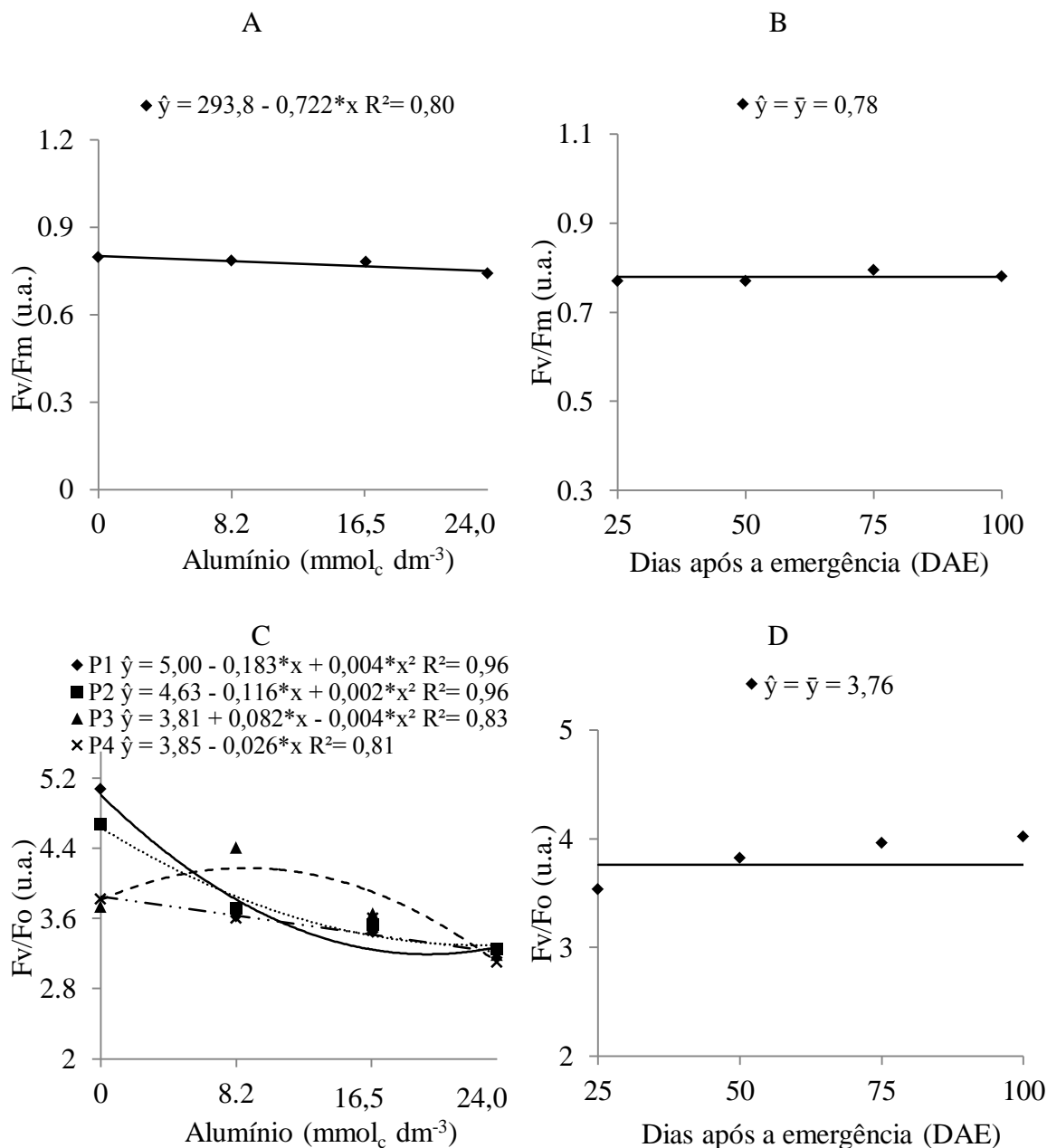


FIGURA 4. Eficiência quântica potencial do FS II – Fv/Fm (A-B) e razão Fv/Fo (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

Na literatura verifica-se que trabalhos realizados com sorgo (PEIXOTO et al., 2002), com citros (PEREIRA et al., 2000) e trigo (MOUSTAKA et al., 1996), comparando cultivares tolerantes com sensíveis ao alumínio os autores observaram reduções significantes de F_v/F_m e F_o nas plantas sensíveis. Em trabalho realizado por Konrad et al. (2005) analisando as trocas gasosas e a fluorescência no cafeeiro os autores observaram que a razão F_v/F_m das cultivares com a presença de Al ($0,148 \text{ mmol L}^{-1}$) decresceu, em média, 13% em relação as testemunhas.

A razão F_v/F_o para as procedências P1, P2 e P4 reduziram com o aumento dos níveis de alumínio, já a P3 apresentou valor máximo da razão na concentração de $8,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 4C). Com relação ao fator tempo não houve efeito significativo, sendo que a média aritmética obtida no ensaio foi de 3,76 (Figura 4D). De acordo com Baker e Rosenqvist (2004) nas espécies que possuem diferentes níveis de tolerância é possível verificar diferentes razões F_v/F_o , conforme foi observado no presente estudo.

Nos trabalhos realizados por Konrad et al. (2005), Pereira et al. (2000) e Peixoto et al. (2002) os autores utilizaram a razão F_v/F_o para detectar estresse de Al em café, citros e em sorgo, respectivamente, pois essa razão amplifica as pequenas variações detectadas em F_v/F_m , como pode ser observado na comparação entre as duas razões na Figura 4A e 4C. No trabalho realizado por Konrad et al. (2002) a razão F_v/F_o em cafeeiros com Al decresceu 42% em relação aos controles.

Com relação ao teste OJIP da fluorescência da clorofila *a* verifica-se que os resultados obtidos para esta característica foram eficientes para distinção do comportamento das plantas em função das doses de alumínio. As plantas submetidas ao nível de $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ apresentaram uma perda da sigmoicidade mais acentuada das curvas, quando comparado com o transiente OJIP dos demais níveis (Figura 5).

Os resultados obtidos no maior nível de alumínio pode ser um indicativo que neste tratamento as plantas apresentaram menor estoque de aceptores de elétrons do fotossistema II devido ao desbalanço entre o fluxo de elétrons do lado doador para o centro de reação e o fluxo de elétrons do centro de reação para o lado acceptor (quinona A) com conseqüente diminuição da fluorescência máxima (STRASSER, 1997), conforme se observou na Figura 3C.

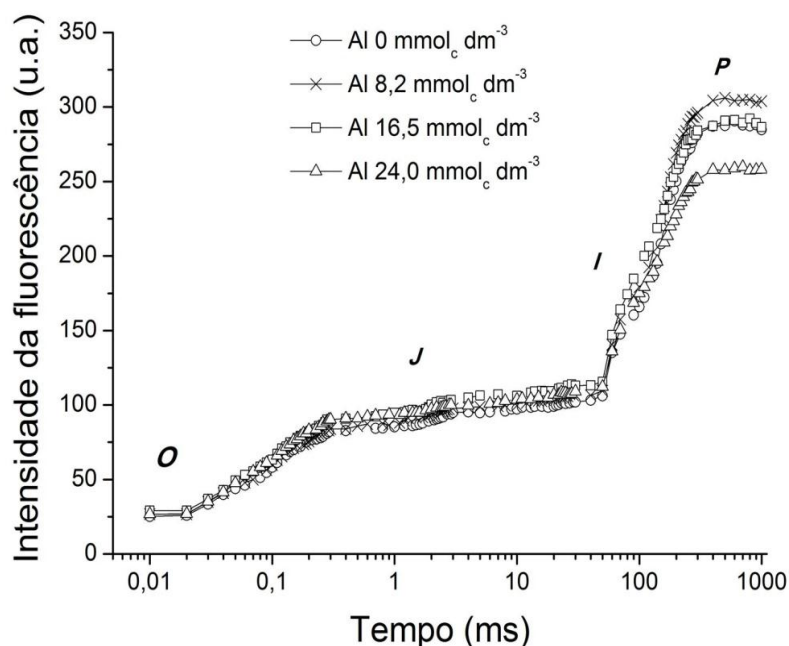


FIGURA 5. Fluorescência transiente da clorofila *a* aos 100 dias após a emergência das plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos diferentes níveis de alumínio no solo (B). Dourados, UFGD, 2012.

Em trabalho realizado por Ecco (2012) avaliando as respostas da fluorescência da clorofila em duas variedades de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio, o autor verificou que as variedades apresentaram certa tolerância ao alumínio nas dosagens utilizadas, sendo que a perda de sigmoicidade das curvas médias de fluorescência no teste OJIP foi mais evidente para verificar apenas o estresse hídrico. Gonçalves et al. (2010), analisando o transiente OJIP das plantas jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl) e cumaru (*Dipteryx odorata* (Aublet) Willd) em dois ambientes de luz, verificaram que após 45 dias de exposição a luz promoveu o estresse por alta incidência de irradiância e, conseqüentemente, levou a redução na elevação da curva para as duas espécies por conseqüência da redução dos valores de fluorescência máxima.

As procedências de pinhão-manso exibiram típica curva OJIP nos níveis de alumínio avaliados com distinção das procedências pelo comportamento da fluorescência da clorofila *a* (Figura 6A). Na comparação das curvas do transiente OJIP verifica-se que os genótipos P2 e P3 tiveram aumento dos valores calculados da área acima de cada curva, o que pode indicar maior intensidade da fluorescência. A área acima da curva OJIP, obtida entre F_o e F_m , é proporcional ao estado de oxidação dos

aceptores de elétrons no lado redutor do FSII e inversamente proporcional ao estado de redução (MEHTA et al., 2010). Quanto maior é essa área, maior é a transferência de elétrons do centro de reação para o ‘pool’ de plastoquinona. Isto porque há maior eficiência na capacidade de reoxidação da quinona A induzindo à eficiência no transporte de elétrons excitados do intersistema até o Fotossistema I (OUKARROUM et al., 2009).

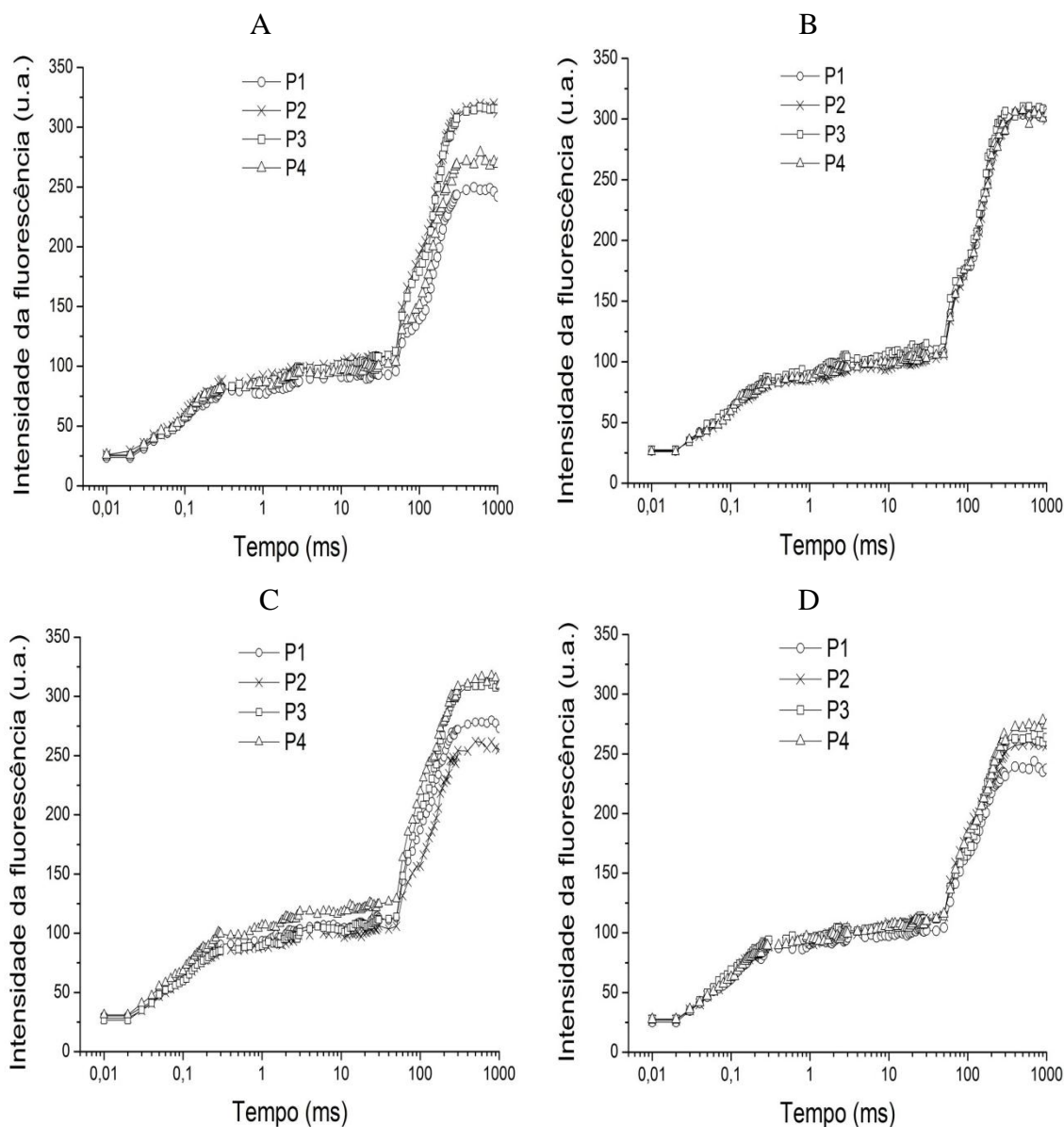


FIGURA 6. Fluorescência transiente da clorofila *a* aos 100 dias após a emergência das plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) das diferentes procedências nos níveis de 0,0 (A), 8,2 (B), 16,5 (C) e 24,0 mmolc dm^{-3} de alumínio no solo (D). Dourados, UFGD, 2012.

Na Figura 6B verifica-se que no nível de $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio as curvas do transiente OJIP das procedências tiveram comportamento muito semelhante, indicando que não houve variação na intensidade da fluorescência, porém, observa-se que as procedências P4 e P1 tiveram aumento da intensidade, indicando o efeito do alumínio. Por outro lado, nos níveis de $16,5$ e $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ as procedências P3 e P4 tiveram uma maior área acima da curva da fluorescência, o que pode indicar uma maior intensidade da fluorescência, comparado aos demais genótipos (Figura 6C e 6D).

O nível de $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo provocou uma redução na intensidade da fluorescência, conforme pode-se visualizar com a modificação no transiente OJIP (Figura 6D). Geralmente, quando as plantas estão sob ambientes estressantes, o tipo de estresse não é claramente identificado pelo transiente da fluorescência da clorofila *a* quando os dados são apresentados na forma linear, contudo, quando os valores do transiente OJIP são apresentados na forma variável relativa verifica-se, nitidamente, o efeito do tipo de estresse (LICHTENTHALER et al., 1998).

Com isso, as curvas OJIP revelaram que, no nível de maior concentração de alumínio, as plantas do pinhão-manso possivelmente tiveram uma menor capacidade de reoxidação de QA no fotossistema II (FSII), gerando um acúmulo de QA reduzida e, conseqüentemente, uma redução do transporte de elétrons a partir daí. Este fato refletiu-se no FSI, onde se encontram os aceptores finais de elétrons, vindos do intersistema (SILVA et al., 2011).

O índice de clorofila das plantas de pinhão-manso da procedência P4 apresentaram valores superiores nos níveis de maior concentração de alumínio no solo, alcançando o valor máximo de 35,5 índice Spad na concentração de $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio (Figura 7A). Já as procedências P1 e P3 tiveram uma redução linear do índice de clorofila conforme aumentou os níveis de alumínio. No decorrer das avaliações verifica-se o efeito danoso do alumínio sobre o índice de clorofila, no qual os valores foram menores nos níveis de $16,5$ e $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo (Figura 7B), sendo que nestes tratamentos foram observados amarelecimento das folhas do pinhão-manso (Anexo 2B).

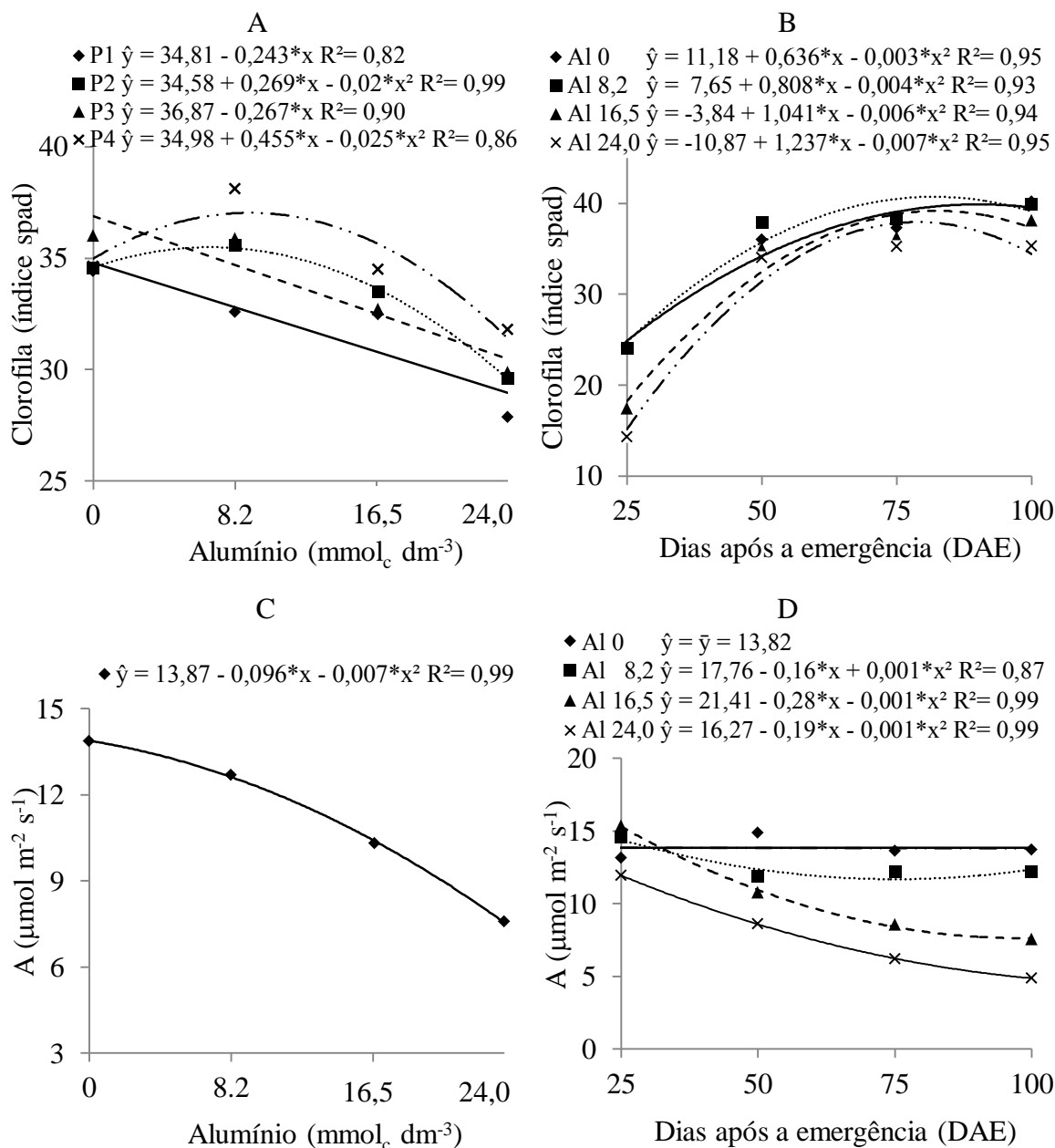


FIGURA 7. Clorofila (A-B) e taxa fotossintética – A (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

O efeito dos níveis mais elevados de alumínio na redução dos teores de clorofila evidencia a relação deste estresse com a produtividade vegetal, considerando que as respostas fisiológicas podem ser utilizadas como índices de tolerância para as respostas ao alumínio (SILVA et al., 2007). Além disso, a condição de estresse sobre a planta, também favorece a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS), que danificam as plantas oxidando pigmentos fotossintéticos, lipídeos de membrana,

proteínas e ácidos nucleicos (GUO et al., 2007). Este dano oxidativo provavelmente inibiu o ácido aminolevulínico desidratase, uma enzima importante na biossíntese de clorofila (PEREIRA et al., 2006).

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Tabaldi et al. (2007) que verificou redução na concentração de clorofila em clones de batata sensíveis ao alumínio nos teores superiores a 100 mg L^{-1} , porém no genótipo considerado tolerante houve aumento da clorofila na presença de Al (na faixa próxima a 100 e 150 mg L^{-1}). Carlin et al. (2012), avaliando o efeito do alumínio tóxico no solo sobre plantas jovens de cana-de-açúcar também verificaram redução linear dos teores de clorofila a, b e total conforme se elevou os níveis de alumínio.

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio e as procedências para a taxa fotossintética (Anexo 5). Porém, à medida que aumentou os níveis de alumínio no solo, houve uma redução significativa da taxa fotossintética das plantas (Figura 7C). O tratamento com ausência de alumínio não apresentou diferença significativa para a taxa fotossintética durante o período avaliado, sendo que o mesmo apresentou valores superiores a partir dos 30 dias após a emergência (Figura 7D).

No trabalho realizado por Pereira et al. (2000) com quatro tipos de porta-enxerto de citros cultivados em presença de alumínio, na concentração de $0,4 \text{ mol L}^{-1}$, foram verificadas quedas na taxa fotossintética entre 55% e 85% em relação ao controle. Comparando-se a fotossíntese de cultivares consideradas tolerantes e sensíveis de sorgo na presença de $0,185 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al (PEIXOTO et al, 2002), de milho na presença de $4,5 \text{ g L}^{-1}$ e de café na presença de $0,148 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al na solução nutritiva (KONRAD et al., 2005) após 97 dias sob estresse, foram observadas quedas diferenciais entre cultivares consideradas tolerantes e sensíveis. Em plantas de diversas espécies e diferentes cultivares de uma mesma espécie pode haver diferenças quanto a resposta da taxa fotossintética à presença tóxica do alumínio.

A transpiração das folhas não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os níveis de alumínio no solo e as procedências. À medida que aumentou os níveis de alumínio no solo, ocorreu uma redução da transpiração (Figura 8A), já com relação à idade das plantas, o tratamento com ausência de alumínio teve um ajuste linear, no qual a transpiração aumentou no decorrer do tempo, já nos tratamentos com $16,5$ e $24,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de alumínio observa-se redução significativa da transpiração com o passar do tempo (Figura 8B).

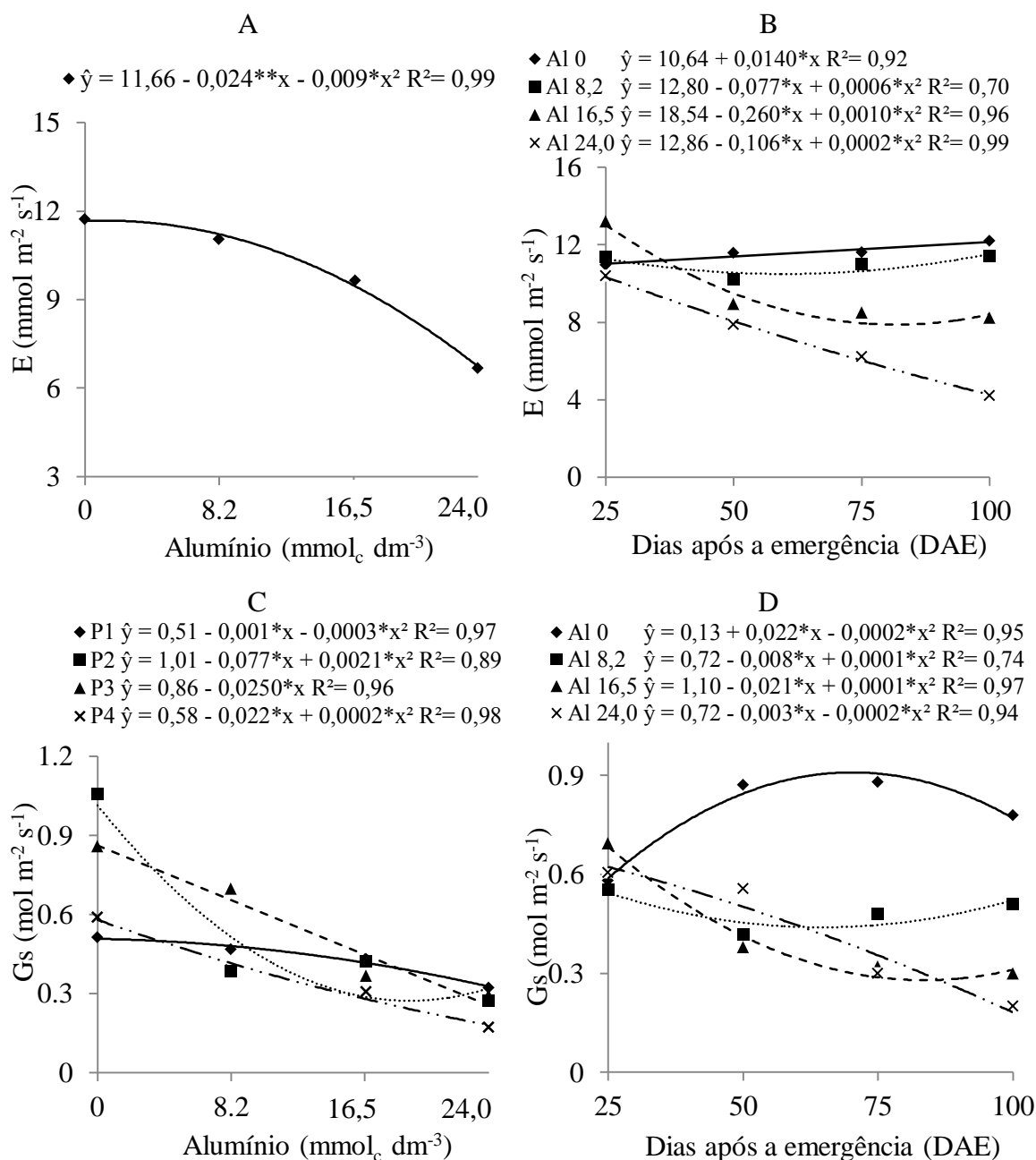


FIGURA 8. Transpiração – E (A-B) e condutância estomática – Gs (C-D) de plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

Na Figura 8C verifica-se que a condutância estomática das procedências avaliadas reduziu com o aumento dos níveis de alumínio, sendo que no nível de 0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ o valor foi superior para a procedência P2. A condutância estomática, semelhante ao observado para taxa fotossintética e transpiração, apresentou-se superior na ausência de alumínio a partir dos 30 dias após a emergência (Figura 8D). Nesse

sentido, o estresse promovido pelo alumínio afeta a atividade fotossintética tanto pelos efeitos estomáticos quanto pelos efeitos não estomáticos (ARAÚJO et al., 2010).

Os menores valores médios da condutância estomática com o aumento dos níveis de alumínio podem ser reflexos do fechamento dos estômatos que consequentemente reduz a taxa de transpiração. De acordo com Mariano et al. (2009), a transpiração tem relação direta com a condutância estomática e com a fotossíntese, o que confirma os resultados obtidos no presente trabalho. Konrad et al. (2005) também verificaram redução da transpiração e condutância estomática em cinco das seis cultivares de café avaliadas em solução nutritiva na concentração de $0,148 \text{ mmol L}^{-1}$ de alumínio.

Os níveis mais elevados de alumínio refletiram na redução da transpiração e condutância estomática, e estas respostas podem estar relacionadas à menor hidratação das plantas, visto que nestas condições houve um menor desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Nestas condições ocorre a perda de solutos das células-guarda, que provoca perda de água e redução da turgidez, causando o fechamento estomático ou pelo aumento dos níveis de ácido abscísico, provocado pela desidratação moderada do mesófilo, que induz o fechamento dos estômatos como consequência reduz a transpiração, fotossíntese e o consumo de assimilados nas folhas (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Segundo Bucci et al. (2008), a redução da transpiração, portanto seria uma estratégia da planta para se adequar a restrição de água. No entanto, em função do fechamento dos estômatos, são gerados decréscimos na assimilação de gás carbônico e no rendimento quântico do fotossistema II (MARIANO et al., 2009).

A eficiência do uso da água (A/E) não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) para as diferentes procedências, níveis de alumínio avaliados e idade das plantas (Anexo 5). Dessa forma, não realizou-se o teste de comparação de média e não se ajustaram equações de regressão para essa característica, sendo o valor estimado das variáveis dependentes igual à média aritmética obtida no ensaio que foi de $1,19 \mu\text{mol mmol}^{-1}$.

Na relação A/Gs, que define a eficiência intrínseca do uso de água, observa-se uma queda linear conforme aumenta os níveis de alumínio no solo (Figura 9A). Com relação ao tempo, a relação A/Gs foi superior no tratamento com ausência de alumínio e em $8,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo apresentado nestes tratamentos um aumento da relação até os 80 dias após a emergência (Figura 9B). A eficiência intrínseca do uso de água define

que, para uma abertura estomática equivalente, as plantas de pinhão-mansó cultivadas em solo com alumínio possuem menor valor para taxa fotossintética (A).

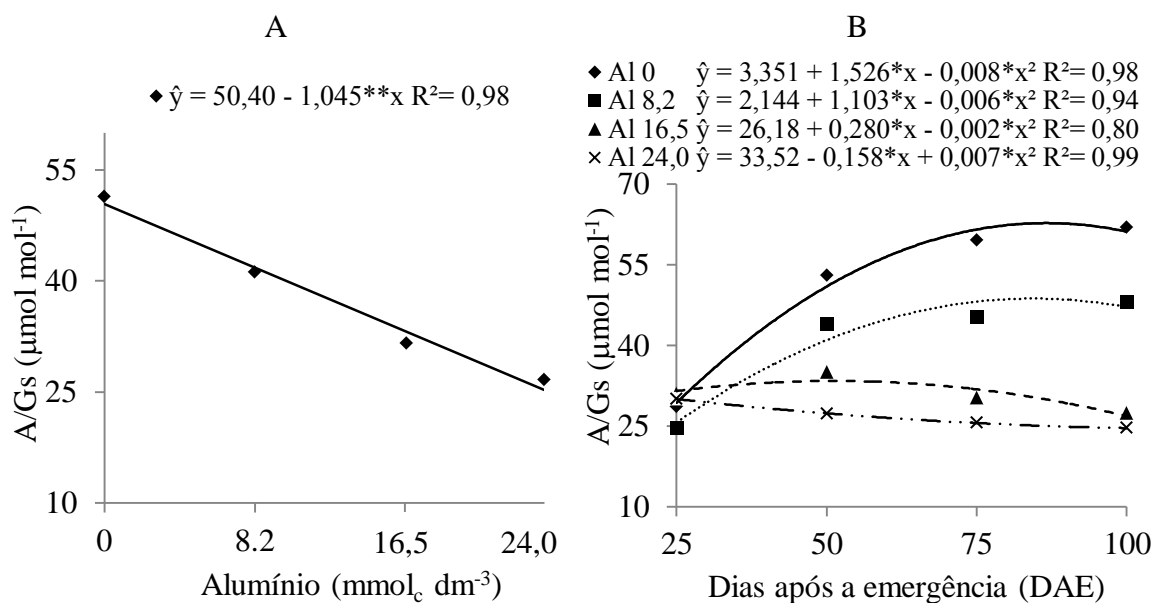


FIGURA 9. Eficiência intrínseca do uso da  gua – A/Gs de plantas de pinhão-mans  (*Jatropha curcas* L.) em fun o de diferentes níveis de alumínio no solo (A) e dias após a emergência (B). Dourados, UFGD, 2012.

A redu o da rela o A/Gs, sugere que a queda em Gs foi apenas um dos fatores que contribuiram para a queda de A nas plantas. Outros autores também observaram que a queda de Gs contribui para a queda de A em plantas submetidas a esse tipo de estresse (PEIXOTO et al., 2002; KONRAD et al., 2005), todavia outros fatores como o metabolismo fotossintético (limita o bioquímica) e transporte eletrônico (limita o fotoquímica) podem contribuir para queda de A em plantas sob estresse de Al (PEIXOTO et al., 2002; AKAYA e TAKENAKA, 2001).

A concentra o interna de CO₂ (C_i) não apresentou intera o significativa para nenhum dos fatores analisados. Nas concentra es superiores a 6,0 mmol_c dm⁻³ de alumínio observa-se uma redu o da C_i na folha (Figura 10A). No decorrer das avalia es nota-se uma redu o significativa da C_i até os 70 dias, alcançando valores mínimos de 238 vpm, mas que se elevaram após este período (Figura 10B).

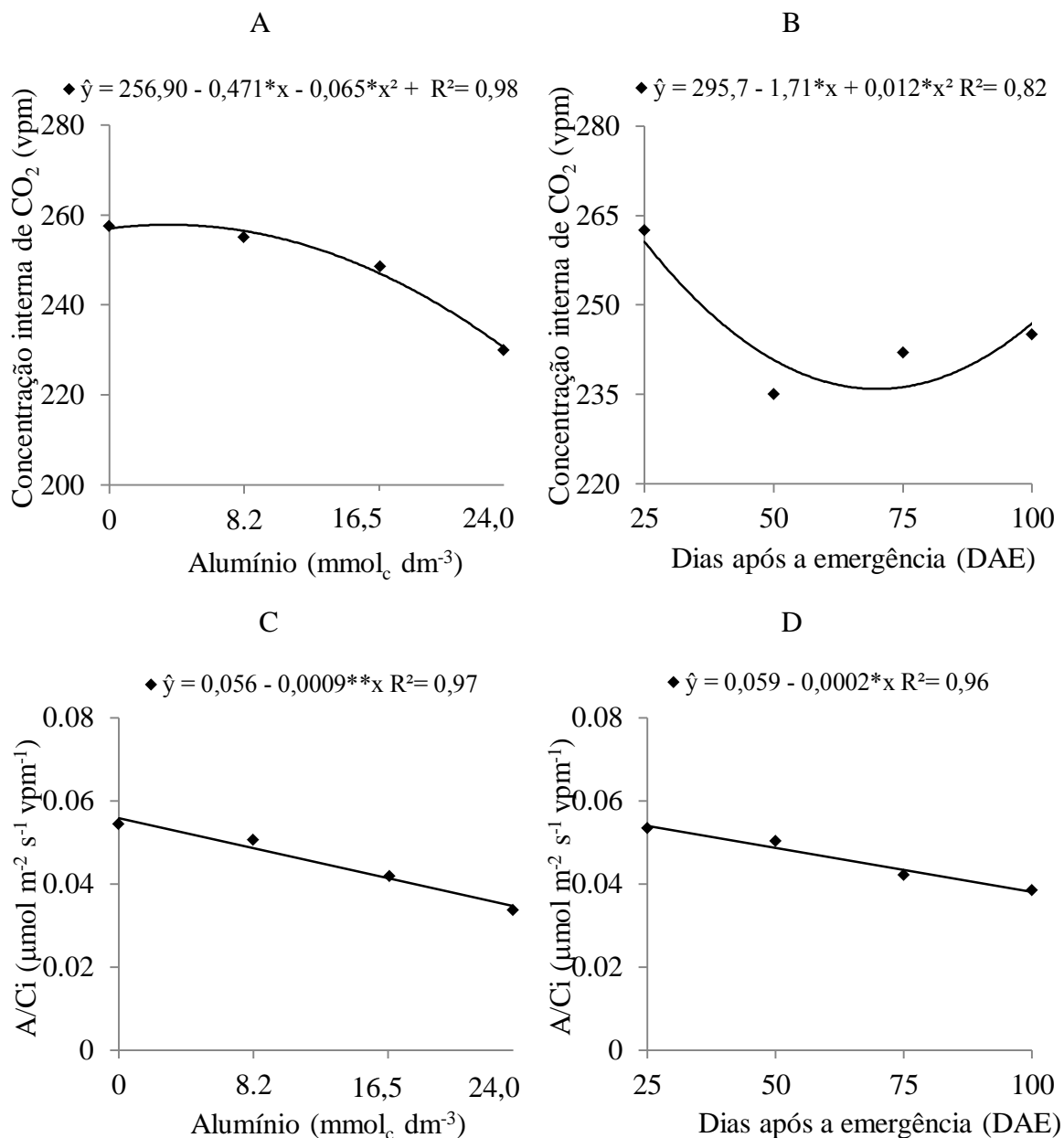


FIGURA 10. Concentração interna de CO₂ (A-B) e eficiência instantânea de carboxilação - A/Ci (C-D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e dias após a emergência. Dourados, UFGD, 2012.

Os resultados encontrados para Ci sugerem que o decréscimo na taxa fotossintética foi consequência da sua redução, que foi ocasionado pela queda da condutância estomática. Em estudos com *Quercus glauca* (AKAYA e TAKENAKA, 2001), em *Sorghum bicolor* (L.) Moench (PEIXOTO et al., 2002), em *Citrus limonia* (PEREIRA et al., 2000) e *Triticum aestivum* L. (MOUSTAKA et al., 1996)

demonstraram que a queda na taxa fotossintética foi decorrente tanto de fatores relacionados com o estômato como com o metabolismo fotossintético.

A eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) teve uma redução linear com a elevação dos níveis de alumínio (Figura 10C) e com o aumento dos dias após a emergência (Figura 10D), na qual estas observações indicam que a A/C_i foi afetada pela presença do alumínio. Resultados semelhantes foram obtidos por Konrad et al. (2005), que avaliando o efeito do estresse de alumínio em seis cultivares de café também verificaram valores significativamente menores de eficiência instantânea de carboxilação para plantas submetidas ao estresse.

A redução da taxa fotossintética pode ter ocorrido devido as condições limitantes do estresse por alumínio, pois os eventos ocorridos nos tilacóides podem ser afetados, interferindo na eficiência da fotossíntese, inativando o fotossistema II (P680) e a cadeia transportadora de elétrons que dará origem ao ATP e NADPH (KRAUSE e WEISS, 1991). A exposição prolongada de plantas ou organelas a condições de estresse pode resultar na foto-destruição dos pigmentos fotossintetizantes, fenômeno normalmente denominado de fotooxidação, resultando na diminuição dos teores desses pigmentos podendo levar a morte da célula ou do organismo (ARAUJO e DEMINICIS, 2009).

Com relação ao teste de atividade enzimática, verifica-se que para a análise da enzima catalase nas folhas não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para as diferentes procedências e entre os níveis de alumínio avaliados (Anexo 7). Dessa forma, não realizou-se o teste de comparação de média e não se ajustaram equações de regressão para essa característica, sendo o valor estimado das variáveis dependentes igual à média aritmética obtida no ensaio que foi de $0,057 \text{ mM guaiacol min.}^{-1} \text{ g matéria fresca}^{-1}$.

Na quantificação da enzima peroxidase nas folhas das plantas de pinhão-manso verifica-se que, com exceção da procedência 1, a atividade da enzima aumentou conforme se elevou os níveis de alumínio no solo, sendo os maiores níveis de atividade da enzima observados na procedência P4. Já a procedência P1 teve um comportamento distinto, pois a atividade reduziu com a elevação da concentração do alumínio (Figura 11A).

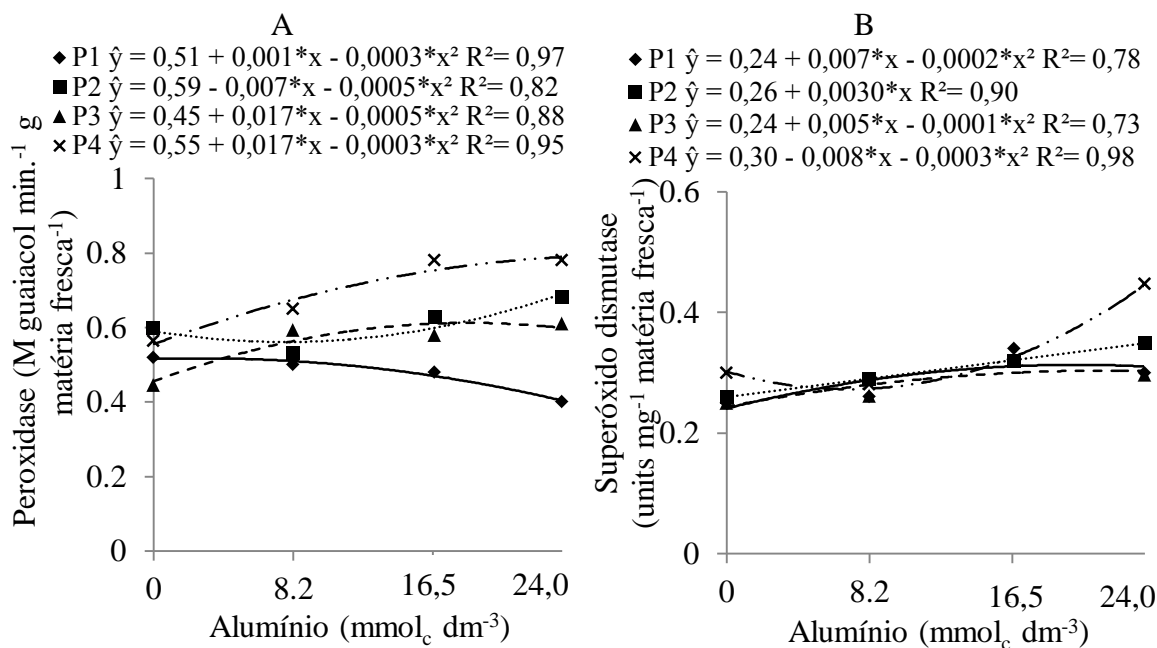


FIGURA 11. Atividade das enzimas peroxidase (A) e superóxido dismutase (B) nas folhas das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012.

A atividade da enzima superóxido dismutase nas folhas teve comportamento semelhante à enzima peroxidase, no qual observou-se elevação da atividade enzimática com o aumento dos níveis de alumínio. No entanto, os valores das procedências pouco diferiram até a concentração de $16,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mas acima destas concentrações a atividade da enzima foi superior na procedência P4 (Figura 11B).

No sistema radicular das plantas de pinhão-manso observou-se que a atividade da enzima catalase foi superior para a procedência P3 nas condições de ausência de alumínio, mas conforme se elevou os níveis de alumínio no solo, ocorreu uma redução até o nível de $10,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Nos níveis superiores a $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo, as plantas da procedência P4 apresentaram maior atividade da enzima nas raízes (Figura 12A). Já a atividade da enzima peroxidase, de um modo geral, teve valores crescentes conforme se elevou os níveis de alumínio, sendo que a procedência P3 apresentou os maiores valores em todos os níveis avaliados (Figura 12B).

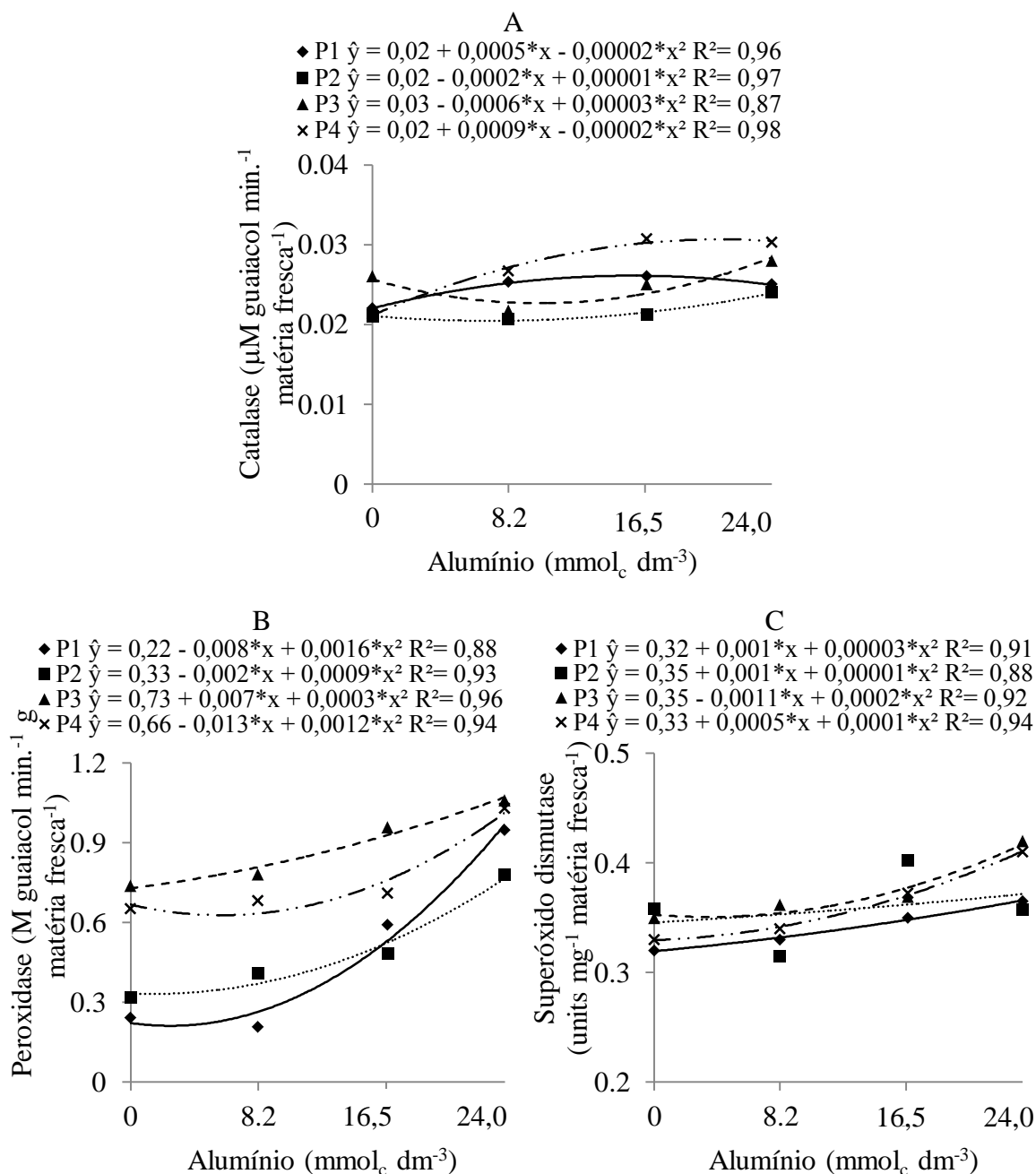


FIGURA 12. Atividade das enzimas catalase (A), peroxidase (B) e superóxido dismutase (C) nas raízes das plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em função dos níveis de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012.

A atividade da enzima superóxido dismutase nas raízes teve comportamento semelhante ao observado nas folhas do pinhão-mansão, no qual os valores pouco diferiram até a concentração de $16,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, no entanto, nos níveis acima deste valor as procedências P3 e P4 tiveram maiores valores para a atividade da enzima (Figura 12C). Os resultados obtidos podem ser indicativos de que as procedências P3 e

P4 tenham uma certa tolerância ao alumínio ou maior eficiência na absorção de água e nutrientes. No trabalho realizado por Rocha (2006) avaliando a atividade de enzimas do metabolismo antioxidativo em raízes de milho submetidas ao estresse de alumínio, o autor verificou aumento significativo na atividade da superóxido dismutase na cultivar tolerante ao alumínio.

Os maiores valores da atividade da enzima catalase, peroxidase e superóxido dismutase observados nas folhas e no sistema radicular, indicam que o aumento dos níveis de alumínio causa estresse oxidativo no pinhão-manso. Este estresse ocasionado pela toxicidade do alumínio, assim como vários outros tipos de estresse, acaba perturbando a homeostase redox celular, e como consequência, o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (SCHÜTZENDÜBEL e POLLE, 2002) incluindo radical superóxido, radical hidroxil e peróxido de hidrogênio. Essas espécies de oxigênio altamente citotóxicas podem causar dano oxidativo a biomoléculas tais como lipídios, proteínas, pigmentos e ácidos nucleicos, levando a peroxidação de lipídeos de membrana, perda de íons, hidrólise de proteínas, e até mesmo dano ao DNA (GUO et al., 2007).

A elevação da atividade de enzimas decorrente da exposição ao alumínio, provavelmente, contribui para a menor peroxidação de lipídios. Segundo Lima et al. (2002), o aumento da tolerância ao estresse está fortemente relacionado ao aumento da atividade dos sistemas antioxidantes das plantas, como por exemplo, com elevação no nível de expressão de proteínas como a catalase, a peroxidase e a superóxido dismutase.

Os resultados metabólicos encontrados para o pinhão-manso explicam os resultados encontrados por Mota (2013) (dados não publicados) os quais mostram que a emergência e o vigor das plântulas das mesmas procedências não foram afetadas pelos níveis de alumínio avaliados e que a procedência P4-Petrolina apresentou maior adaptabilidade nas condições de presença do alumínio, sendo que o volume radicular e a massa seca das plantas foram superiores nestas condições.

CONCLUSÕES

As características da fluorescência da clorofila *a* indicam o efeito danoso do estresse de alumínio, sendo que por meio do teste OJIP pode-se verificar as interferências no fotossistema II.

A atividade das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase foram superiores na presença do alumínio para as procedências P3-Alta Floresta e P4-Petrolina indicando menor sensibilidade destes genótipos às condições de estresse.

A taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática reduziram com o aumento dos níveis de alumínio no solo, implicando na provável redução da produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOOR, M.; STREIBIG, J. C. Clodinafop changes the chlorophyll fluorescence Induction curve. **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 1, p. 1-9, 2005.

AKAYA, M.; TAKENAKA, C. Effects of aluminum stress on photosynthesis of *Quercus glauca* Thunb. **Plant and Soil**, London, v.237, p.137-146, 2001.

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1247-1257, 1995.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim elefante anão em estresse hídrico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1607-1621, 2004.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Anal Biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514. 1989.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. D.; FRANCO, A. C.; ZHANG, Y.; HAO, G. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 233-245, 2008.

CAMEJO, D.; RODRIGUEZ, P.; MORALES, M. A.; AMICO, J. M. D.; TORRECILLAS, A. ALARCON, J. J. High temperature effects on photosynthetic

activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of plant Physiology**, v. 162, p. 281-289, 2005.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC 91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 553-563, 2012.

COSTA, E. S.; BRESSAN-SMITH, R.; OLIVEIRA, J. G.; CAMPOSTRINI, E. Chlorophyll a fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. **Photosynthetica**, v. 41, p. 77-82, 2003.

DEL LONGO, O. T.; GONZÁLES, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, V. S. Antioxidant defenses under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant Cell Physiology**, v. 34, p. 1023-1028, 1993.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2005.

ECCO, M. **Respostas biométricas e de fluorescência da clorofila a, em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio**. 2012. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados-MS, 2012.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 32 p.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1977.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES, D. G.; BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 89-98, 2010.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES, D. G.; BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 89-98, 2010.

GUO, T. R.; ZHANG, G. P.; ZHANG, Y. H. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 57, n. 2, p. 182-188, 2007.

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

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review Plant Physiology*. **Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.

LICHTENTHALER, H. K.; WENZEL, O.; BUSCHMANN, C.; GITELSON, A. Plant stress detection by reflectance and fluorescence. **Annals New York Academy of Science**, v. 851, p. 271-285 1998.

LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TÓTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 239-247, 2002.

MACEDO, G. A.; PASTORE, G. M.; SATO, H. H.; PARK, Y. K. **Bioquímica experimental dos alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2005. 187p.

MARIANO, K. R.; BARRETO, L. S.; SILVA, A. H. B.; NEIVA, G. K. P.; AMORIM, S. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* FR. ALL. submetida ao déficit hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 72-77, 2009.

MEHTA, P.; JAJOO, A.; MATHUR, S.; BHARTI, S. Chlorophyll *a* fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, p. 16-20, 2010.

MOTA, L. H. S. **Efeito do alumínio sobre o crescimento e o comportamento fisiológico do pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.)**. 2013. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2013.

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

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. 189-253p.

OUKARROUM, A.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl *a* fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 137, p. 188-199, 2009.

PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M.; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, p. 821-832, 2002.

PEREIRA, L. B.; TABALDI, L. A.; GONÇALVES, J. F.; JUCOSKI, J. O.; PAULETTO, M. M.; WEIS, S. N.; NICOLOSO, F. T.; BORHER, D.; ROCHA, J. B. T.; SCHETINGER, M. R. C. Effect of aluminum on daminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 57, n. 106-115, 2006.

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

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

ROCHA, M. **Respiração e atividade de enzimas do metabolismo antioxidativo em raízes de plântulas de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse por alumínio**. 2006. 55 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 1351-1365, 2002.

SILVA, D. M.; SANTOS, K. T.; DUARTE, M. M. Eficiência fotoquímica em folhas do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden durante o estágio reprodutivo e caracterização da ontogenia dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1066-1073, 2011.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. M. P.; VASQUEZ, H. M.; BRESSAN-SMITH, R.; SILVA, F. C.; ERBESDOBLER, E. D. A.; JUNIOR, P. S. C. A. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 67-74, 2006.

STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (eds.). **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Dordrecht: Springer, 2004. 32-362p.

STRASSER, B. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll *a* fluorescence transients. **Photosynthesis Research**, v. 52, p. 147-155, 1997.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Sistema para análises estatísticas e genéticas - SAEG**. Versão 9.1. Viçosa, 2007. 142p.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperaturedependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v. 39, p. 383-388, 2001.

CONCLUSÕES GERAIS

O aumento dos níveis de alumínio no solo reduziu o crescimento e o acúmulo de massa seca das procedências P1-Dourados, P2-Montes Claros e P3-Alta Floresta.

As trocas gasosas foram afetadas negativamente pelo alumínio e as respostas da fluorescência da clorofila indicam efeito danoso do mesmo, sendo que através do teste OJIP pode-se verificar as interferências no fotossistema II.

A atividade das enzimas catalase, peroxidase e superóxido dismutase foram superiores na presença do alumínio para as procedências P3-Alta Floresta e P4-Petrolina, no qual este resultado somado às respostas obtidas para o crescimento e demais características fisiológicas indicam menor sensibilidade destes genótipos às condições de estresse de alumínio.

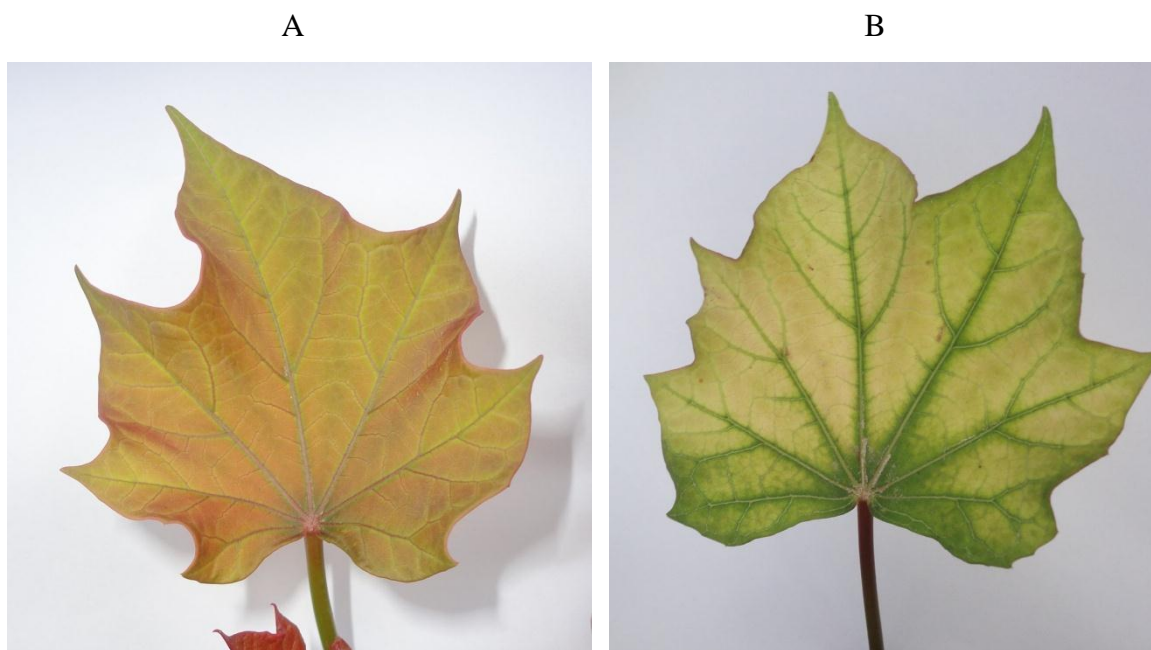
ANEXOS

ANEXO 1. Resumo da análise de variância para porcentagem de emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		E	IVE	TME
Alumínio (Al)	3	1,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,85 ^{ns}
Progênes (P)	3	8,27 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Al x P	9	7,85 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Média Geral		87,58	3,72	8,94
CV%		3,13	5,74	4,37

(^{ns}) Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;



ANEXO 2. Características derivadas do efeito tóxico do alumínio e observadas nas folhas do terço superior das plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) nos níveis superiores a $16,5 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de alumínio no solo. Dourados, UFGD, 2012.

ANEXO 3. Resumo da análise de variância para altura de planta (A), diâmetro de coleto (D), comprimento de raiz (Craiz), volume de raiz (Vraiz), razão altura/diâmetro (RAD), razão raiz/parte aérea (Raiz/PA), número de folhas (Nfolha), área foliar (Afoliar), massa seca de folhas (MSfolha), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSraiz) e massa seca total (MStotal) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios											
		A	D	Craiz	Vraiz	RAD	Raiz/PA	Nfolha	Afoliar	MSfolha	MSC	MSraiz	MStotal
Alumínio (Al)	3	638,36**	43,80*	26,38*	238,54**	1,18*	0,54*	95,97*	736168,84**	43,86**	217,89**	7,70**	580,36**
Progenies (P)	3	11,29 ^{ns}	1,22 ^{ns}	6,10 ^{ns}	10,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,001 ^{ns}	8,26 ^{ns}	121077,09**	1,05 ^{ns}	5,41*	2,10**	16,85*
Al x P	9	19,04*	4,91 ^{ns}	12,35 ^{ns}	41,29**	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,49 ^{ns}	177781,83**	1,46*	18,21**	1,12**	37,60*
Tempo (T)	3	1313,31**	1699,20**	595,99*	3189,58**	2,77*	9,39	346,85*	5324288,34**	131,98**	2919,41**	101,3**	5679,27**
Al x T	9	89,85**	9,83**	7,70 ^{ns}	51,17**	0,09**	0,06*	29,52**	106694,89**	9,06**	80,40**	2,55**	174,44**
P x T	9	6,20 ^{ns}	3,10 ^{ns}	3,69 ^{ns}	19,11 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	8,75 ^{ns}	23242,53**	0,98*	6,70**	1,0*	4,32 ^{ns}
Al x P x T	27	8,04 ^{ns}	2,63 ^{ns}	5,90 ^{ns}	19,36*	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	3,30 ^{ns}	25702,16**	1,85**	8,99**	0,67*	18,42**
Média Geral		21,82	15,83	17,76	13,77	1,44	0,91	8,79	548,57	2,69	8,63	1,9	13,23
CV% Al		18,61	11,36	13,21	36,09	9,96	13,68	20,13	29,06	16,02	22,59	39,82	18,15
CV% P		12,24	9,49	15,51	25,61	14,63	17,41	25,7	19,17	25,54	15,46	23,95	14,76
CV% T		13,44	10,15	14,1	23	12,92	18,07	21,85	12,18	25,5	16,07	33,16	15,89

** Efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

* Efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;

ANEXO 4. Resumo da análise de variância para razão da parte aérea e raiz (RPAR), razão de peso de folha (RPF), área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	RPAR	RPF	AFE	RAF
Alumínio (Al)	3,85 ^{ns}	0,03**	63181,96**	592,30*
Progênes (P)	3,38 ^{ns}	0,002 ^{ns}	3921,81 ^{ns}	119,96 ^{ns}
Al x P	2,75 ^{ns}	0,35 ^{ns}	20925,02**	994,05**
Tempo (T)	17,15*	0,35*	23277,55**	11623,98*
Al x T	6,00**	0,002 ^{ns}	15337,01**	469,86**
P x T	4,77**	0,003 ^{ns}	4243,14 ^{ns}	198,50**
Al x P x T	2,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	6502,27**	203,72**
Média Geral	6,02	0,247	223,09	52,03
CV% Al	28,82	13,94	30,65	18,51
CV% P	24,88	11,57	20,17	16,36
CV% T	22,24	16,27	21,27	16,01

** Efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

* Efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;

ANEXO 5. Resumo da análise de variância para índice de clorofila (IC), taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso de água (A/Gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios							
		IC	A	E	Gs	AE	AGs	Ci	ACi
Alumínio (Al)	3	309,01**	370,65**	241,51**	2,02*	0,06 ^{ns}	5732,14**	7417,17**	0,004**
Progênes (P)	3	67,40*	9,92 ^{ns}	7,73 ^{ns}	0,35*	0,32 ^{ns}	934,72 ^{ns}	925,78 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Al x P	9	21,70*	18,96 ^{ns}	8,863 ^{ns}	0,27*	0,10 ^{ns}	708,72 ^{ns}	1005,65 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Tempo (T)	3	3831,94**	187,99**	66,51**	0,34**	0,063 ^{ns}	1774,14**	8302,02**	0,003**
Al x T	9	46,67**	45,82**	40,96**	0,38**	0,087 ^{ns}	1076,01**	2109,01 ^{ns}	0,004 ^{ns}
P x T	9	15,95 ^{ns}	4,28 ^{ns}	5,19 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	422,62 ^{ns}	940,14 ^{ns}	0,00004 ^{ns}
Al x P x T	27	19,62 ^{ns}	6,72 ^{ns}	2,80*	0,068 ^{ns}	0,10 ^{ns}	309,03 ^{ns}	591,52*	0,0001 ^{ns}
Média Geral		33,36	11,1	9,76	0,47	1,19	37,66	247,71	0,05
CV% Al		11,54	32,75	37,34	32,6	29,3	33,78	17,19	32,52
CV% P		11,49	30,52	32,89	30,2	28,32	32,25	21,1	31,15
CV% T		12,19	22,63	24,64	22,36	25,4	28,35	14,28	25,16

** Efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

* Efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;

ANEXO 6. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (Fo), fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima (Fm), eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e razão Fv/Fo em função de diferentes níveis de alumínio no solo, procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e tempo de avaliação. Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fo	Fv	Fm	FvFm	FvFo
Alumínio (Al)	3	615,55*	8012,98**	4993,71*	0,018**	9,53*
Progenies (P)	3	248,56 ^{ns}	3088,79 ^{ns}	4946,47 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Al x P	9	129,65 ^{ns}	1080,35 ^{ns}	977,89 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	2,44*
Tempo	3	687,79*	5663,24**	6989,90**	0,0068 ^{ns}	3,35 ^{ns}
Al x T	9	84,31 ^{ns}	975,31 ^{ns}	1335,53 ^{ns}	0,00098 ^{ns}	0,56 ^{ns}
P x T	9	105,45 ^{ns}	589,47 ^{ns}	692,71 ^{ns}	0,00172 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Al x P x T	27	76,42 ^{ns}	649,79 ^{ns}	858,52 ^{ns}	0,00069 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Média Geral		62,87	223,84	286,71	0,778	3,76
CV% Al		20,71	13,58	10,67	6,12	30,2
CV% P		21,71	16,49	15,61	4,98	26,04
CV% T		17,49	10,61	9,03	5,28	28,05

** Efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

* Efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;

ANEXO 7. Resumo da análise de variância para atividade das enzimas catalase (Cat), peroxidase (Per) e superóxido dismutase (Sod) nas folhas (F) e raiz (R) em função de diferentes níveis de alumínio no solo e procedências de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Dourados, UFGD, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Folha			Raiz		
		CatF	PerF	SodF	CatR	PerR	SodR
Alumínio (Al)	3	0,003 ^{ns}	0,097*	0,01 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	0,37**	0,003 ^{ns}
Progênes (P)	3	0,005 ^{ns}	0,32**	0,04**	0,00008**	0,70**	0,0002 ^{ns}
Al x P	9	0,003 ^{ns}	0,096**	0,008*	0,00002**	0,17*	0,002**
Média Geral		0,057	0,68	0,37	0,024	0,66	0,36
CV%		38,56	17,5	18,26	8,44	34,25	15,62

** Efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

* Efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} Não significativo;

(GL) Graus de liberdade; (CV) Coeficiente de variação;