



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

LARISSA DE OLIVEIRA FONTES

**EFEITO DE HERBICIDAS COM DIFERENTES MECANISMOS DE AÇÃO NO
CONTROLE E NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE CARURU RASTEIRO SOB
CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO**

FORTALEZA - CE

2014

LARISSA DE OLIVEIRA FONTES

**EFEITO DE HERBICIDAS COM DIFERENTES MECANISMOS DE AÇÃO NO
CONTROLE E NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE CARURU RASTEIRO SOB
CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. D. Sc. Enéas Gomes Filho

FORTALEZA - CE

2014

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

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

- F766e Fontes, Larissa de Oliveira.
Efeito de herbicidas com diferentes mecanismos de ação no controle e na fisiologia e bioquímica de caruru rasteiro sob condições de estresse abiótico / Larissa de Oliveira Fontes. – 2014.
129 f. : il.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2014.
Orientação: Prof. Dr. Enéas Gomes Filho.
Coorientação: Prof. Dr. Alexandre Bosco de Oliveira.
1. *Amaranthus deflexus* L. 2. Matologia. 3. Controle químico. 4. Estresse hídrico. 5. Alterações bioquímicas. I. Título.

CDD 630

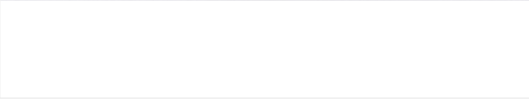
LARISSA DE OLIVEIRA FONTES


**EFEITO DE HERBICIDAS COM DIFERENTES MECANISMOS DE AÇÃO NO
CONTROLE E NA FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DE CARURU RASTEIRO SOB
CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICO**

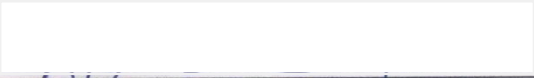
Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Área de Concentração: Fitotecnia.


Aprovada em: 25 / 02 / 2014.


BANCA EXAMINADORA


Prof. D. Sc. Enéas Gomes Filho - Orientador
Universidade Federal do Ceará (Membro interno)


Prof. D. Sc. Alexandre Bosco de Oliveira - Coorientador
Universidade Federal do Ceará (Membro interno)


Prof. D. Sc. Alek Sandro Dutra - Conselheiro
Universidade Federal do Ceará (Membro interno)


D. Sc. Elton Camelo Marques - Conselheiro
Universidade Federal do Ceará (Membro externo)


Prof. Ph. D. João Bosco Pitombeira - Conselheiro
Universidade Federal do Ceará (Membro externo)

À Francisca Eleni de Oliveira.

A Ítalo Nunes Silva.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, em sua infinita bondade e por todas as oportunidades a mim dadas.

À Universidade Federal do Ceará, em particular ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia e de Bioquímica e Biologia Molecular, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, na pessoa de Márcio Cleber de Medeiros Correa (ex) e Renato Innecco (atual coordenador), por toda dedicação, amizade, carinho e atenção de sempre. Obrigada ainda, pela disponibilidade de participarem da minha qualificação, contribuindo grandemente para o aperfeiçoamento do projeto e artigo. Quero ainda agradecer ao prof. Renato Innecco por sua contribuição direta para realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Enéas Gomes Filho, pela orientação, compreensão, apoio, paciência, ensinamentos, confiança e valiosa contribuição para realização desta pesquisa.

Ao professor Alexandre Bosco de Oliveira, pela orientação, amizade, dedicação, ensinamentos, confiança e valiosa contribuição para realização desta pesquisa.

Ao professor João Bosco Pitombeira, por toda orientação, amizade, preocupação e conselhos, e pela disponibilidade em participar da banca examinadora desta tese.

Ao professor Sebastião Medeiros Filho, pela valiosa participação da minha qualificação e por disponibilizar espaço físico e equipamentos do Laboratório de Análises de Sementes para auxiliar parte desta pesquisa.

Aos meus conselheiros Alek Sandro Dutra e Elton Camelo Marques, pela disponibilidade em participar da banca examinadora desta tese. Este último, também agradeço imensamente por toda orientação e apoio em parte desta pesquisa.

Aos professores José Tarquinio Prisco e Joaquim Enéas Filho, pela disponibilidade de espaço físico, reagentes e equipamentos do Laboratório de Fisiologia Vegetal para auxiliar parte desta pesquisa.

A Ítalo Nunes Silva, por todo apoio, companheirismo, amizade, paciência, pela valiosa e essencial contribuição na realização deste trabalho. Muito obrigada por tudo!

Ao amigo-irmão Vianney Reinaldo de Oliveira, pela amizade verdadeira e incansável contribuição nesta pesquisa.

À minha mãe, Francisca Eleni de Oliveira, e aos meus irmãos, Pedro Evaristo Fontes de Queiroz Neto e Laysa Mabel de Oliveira Fontes, pela torcida, incentivo e orações. Amo vocês!

Ao professor Francisco Bezerra Neto, por todo apoio, amizade e valiosa contribuição neste trabalho.

Aos amigos da UFERSA, em especial a Francisco Cláudio Lopes de Freitas, Marcio Gledson Oliveira da Silva e Daniely Formiga Braga, por contribuírem diretamente no meu exame de qualificação.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia da Produção, em especial a Maria de Fátima, Maria Neurilan, Antonio Ageu, Tatiana Maria, Lucas Kennedy, Renato Leandro e Fernanda Bezerra, pela amizade, pelos momentos felizes e tristes, e, principalmente, por toda ajuda na execução deste trabalho. Muito obrigada por tudo!

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal (LABFIVE I e LABFIVE II), em especial a Lilian Maria Silva, pela contribuição direta na condução de parte deste trabalho.

Aos amigos da Fitotecnia/UFC, pelo agradável convívio durante o Curso de Doutorado.

Aos funcionários da pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, em especial a Deocleciano Ivo Xavier, pela amizade, carinho e atenção de sempre.

E, finalmente, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, colaboraram para realização desta pesquisa.

Muito obrigada!

“Pois todas as coisas foram criadas por Ele, e tudo existe por meio Dele e para Ele. A Deus, toda honra e toda gloria.” (Rom.11:36).

RESUMO

FONTES, L. O. **Efeito de herbicidas com diferentes mecanismos de ação no controle e na fisiologia e bioquímica de caruru rasteiro sob condições de estresse abiótico.** Fortaleza-CE. UFC. 129 f. (Tese).

Esta pesquisa foi realizada visando à obtenção de dados básicos que possam auxiliar na compreensão do efeito de herbicidas de diferentes mecanismos de ação na fitotoxicidade e em características fisiológicas e bioquímicas de *Amaranthus deflexus* L. (planta daninha, conhecida popularmente como caruru rasteiro), sob condições de estresses abióticos. Nos dois primeiros capítulos, a semeadura foi realizada em placas de petri, contendo duas folhas de papel filtro, umedecidas com água destilada (controle) ou com soluções de polietileno glicol 6000 (PEG 6000), de modo a fornecer, no primeiro capítulo, os potenciais osmóticos de -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa no experimento um, bem como -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,5 MPa no experimento dois. No primeiro experimento do segundo capítulo, utilizou-se a mesma configuração do experimento um do capítulo anterior, substituindo apenas o substrato polietileno glicol 6000 (PEG 6000) por NaCl. Ao final de cada experimento superaracitado, as sementes não germinadas em cada tratamento foram lavadas e colocadas para germinar em substrato papel filtro, umedecido com água para observação da continuidade do processo germinativo das mesmas. Em ambos os experimentos, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator dois fotoperíodos (12 horas de luz e 24 horas de escuro) e o segundo seis níveis de condições hídricas ou salinas aplicados, totalizando doze tratamentos, com quatro repetições de 50 sementes cada. No segundo experimento do segundo capítulo, cinquenta sementes foram mantidas no regime de temperaturas constantes de 20; 25; 30; 35 e 40 °C, e alternadas de 20-30; 25-35 e 30-40 °C. Após a instalação do teste, as avaliações foram efetuadas diariamente, durante 14 dias, quando o experimento foi encerrado. A germinação e o vigor das sementes de *A. deflexus* foram avaliadas através da primeira contagem, teste de germinação, índice de velocidade e tempo médio de germinação. No terceiro capítulo, foi avaliada a influência de herbicidas de diferentes mecanismos de ação e níveis de condições hídricas sobre o estabelecimento inicial do *A. deflexus*. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo e parcelas subdivididas no tempo. A análise de variância foi realizada utilizando a metodologia de modelos mistos. Para as variáveis, massa seca total, altura de plantas, diâmetro do caule, conteúdo relativo de água e teor relativo de clorofila, as plantas daninhas foram submetidas a três fatores: (i) produtos (água, glifosate, diuron, nicosulfuron ou 2,4 D, aplicadas nas parcelas); (ii) condições hídricas (100%, 60% ou 30% da capacidade da bandeja, aplicadas nas parcelas) e (iii) dias após a aplicação do produto (0, 2, 4, 6 e 8 dias, aninhado nas subparcelas), totalizando 75 combinações. Para a avaliação da escala de fitotoxicidade, foram realizadas avaliações do segundo ao oitavo dia após a aplicação do produto, configurando 60 combinações. No quarto capítulo, foi avaliado o efeito de herbicidas, aplicados em pós-emergência em plantas de *A. deflexus* na atividade de enzimas antioxidantes, submetidas a diversas condições hídricas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo e parcelas subdivididas no tempo. A análise de variância foi realizada utilizando a metodologia de modelos mistos. Para a análise da atividade enzimática catalase, dismutase do superóxido, peroxidase do ascorbato e peroxidase do guaiacol, as plantas daninhas foram submetidas a três fatores: (i) produtos (água, glifosate, diuron, nicosulfuron ou 2,4 D, aplicadas nas parcelas); (ii) condições hídricas (100%, 60% ou 30% da capacidade da bandeja, aplicadas

nas parcelas); e (iii) horas após a aplicação do produto (24, 48 e 72 horas, aninhado nas subparcelas), totalizando 45 combinações. O estresse hídrico e salino afeta negativamente o desempenho das sementes de *A. deflexus* reduzindo a germinação e vigor a partir de -0,1 MPa. A germinação das sementes, da subamostra geneticamente variável, de *A. deflexus* foi comprometida pelo escuro total, independentemente dos níveis de estresse hídrico ou salino aplicado. Houve aumento de germinação de sementes de *A. deflexus* após a aplicação da recuperação das mesmas nos maiores níveis de estresse hídrico e salino. Houve superioridade na porcentagem final de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes de *A. deflexus* na temperatura de 25 °C constante e no regime alternado de 25-35 °C. Foi verificada redução na magnitude dos caracteres quantitativos de crescimento das plantas de *A. deflexus* em função da aplicação de herbicidas associados às condições de estresse hídrico. Para a variação aleatória resultante do efeito aninhado do tempo nas subparcelas, foi verificada tendência de decréscimo dos caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa seca total, teor de clorofila total e conteúdo relativo de água, bem como aumento de fitotoxicação das plantas daninhas até o oitavo dia após aplicação dos herbicidas, com o aumento do comprimento dos subintervalos de avaliação. Houve redução das atividades do sistema enzimático antioxidante nas plantas de *A. deflexus* em função da aplicação de herbicidas, associados às condições de condições hídricas.

Palavras-chave: *Amaranthus deflexus* L. Matologia. Controle químico. Estresse hídrico. Alterações bioquímicas.

ABSTRACT

FONTES, L. O. **Effect of herbicides via different mechanisms of action on the control and on physiology and biochemistry of *Amaranthus deflexus* under abiotic stress.** Fortaleza-CE. UFC. 129 f. (Tese).

This research was conducted aiming to obtain basic data that could help in the understanding of the effect of herbicides of different mechanisms of action in the phytotoxicity and in physiologic and biochemical characteristics of *Amaranthus deflexus* L. under different conditions of abiotic stress. In the first two chapters, seeds were placed in Petri dishes containing two sheets of filter paper moistened with distilled water (control) and polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) in order to achieve the osmotic potential of -0.3, -0.6, -0.9, -1.2, and -1.5 MPa in experiment one and -0.1, -0.2, -0.3, -0.4, and -0.5 MPa in experiment two. In the first experiment of the second chapter it was used the same plot as in the first experiment of the previous chapter. In this case, polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) was replaced by NaCl. At the end of the experiments, the seeds that did not germinate in each treatment were washed and placed on filter paper moistened with water in order to observe the continuity of the germination process. In both experiments it was used a completely randomized 2x 6 factorial design in which the first factor was photoperiod (12 hours of light and 24 hours of darkness) and the second factor was level of hydric or salt conditions, in a total of twelve treatments with for replications of 50 seeds each. In the second experiment of the second chapter, fifty seeds were kept under continuous temperatures of 20; 25; 30; 35 and 40 °C, and alternating temperatures of 20-30; 25-35 and 30-40 °C. Germination and vigor of *A. deflexus* seeds were evaluated through first germination count, germination test, germination speed index, and average germination time. In the third chapter, it was evaluated the influence of herbicides via different mechanisms of action and different hydric conditions on the initial establishment of *A. deflexus*. It was used a completely randomized design with double factorial and subplots split over the time. The analysis of variance was done using the mixed model methodology. The variables were the total dry mass, plant height, stem diameter, relative water content, and the relative percentage of chlorophyll. The weed was subjected to: (i) three products (water, glyphosate, diuron, nicosulfuron and 2.4 D), (ii) hydric conditions (100, 60 and 30% of field capacity) and (iii) time (0, 2, 4, 6 and 8 days) after the application of the products in a total of 75 combinations. In order to determine phytotoxicity, evaluations were conducted from two to eight days after the application of herbicides. In the fourth chapter, it was evaluated the effect of herbicides sprayed after emergence of *A. deflexus* plants on activity of antioxidant enzymes subjected to different hydric conditions. It was used a completely randomized design with double factorial and subplots split over the time. The analysis of variance was done using the mixed model methodology. It was analyzed the enzymatic activity of catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase. The weed was subjected to: (i) three products (water, glyphosate, diuron, nicosulfuron and 2.4 D), (ii) hydric conditions (100, 60 and 30% of field capacity) and (iii) time (24, 48, and 72 hours) after the application of the products in a total of 45 combinations. Hydric and salt stress affected negatively the development of *A. deflexus* seeds by reducing their germination and vigor from -0,1 MPa on. The germination of *A. deflexus* seeds was reduced by the absence of light regardless of the level hydric or salt stress applied. There was an increase in the germination of *A. deflexus* seeds after the rehydration of the ones subjected to the higher levels of hydric and salt stress. The final percentage of germination and the speed germination index of *A. deflexus* seeds were superior at the continuous temperature of 25 °C and at the alternating temperatures of 25-35 °C. It was

found a reduction in the quantitative characteristics of growth in *A. deflexus* plants as a function of the application of herbicides in association with hydric stress. In relation to the random variation caused by the accumulation of time in the subplots, it was found that the tendency of reduction in the height, stem diameter, total dry mass, total percentage of chlorophyll and relative water content of plants. There was an increase in the phytotoxicity to weeds up to the eighth day after the application of herbicides following prolongation in the interval of evaluation. There was a reduction in the activity of the antioxidant enzymatic system in *A. deflexus* seeds as a function of the application of herbicides in association with different hydric conditions.

Keywords: *Amaranthus deflexus* L. Weed science. Chemical control. Water stress. Biochemical changes.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I -RECUPERAÇÃO E RESPOSTA GERMINATIVA DE SEMENTES DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE CONDIÇÕES HÍDRICAS E LUMINOSIDADES

- Figura 1.** Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 45
- Figura 2.** Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 47
- Figura 3.** Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação em dias (D) de recuperação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 49
- Figura 4.** Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 50
- Figura 5.** Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 52
- Figura 6.** Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de recuperação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. após diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 54

CAPÍTULO II - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ESTRESSE SALINO

- Figura 1.** Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse salino em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 67

Figura 2.	Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de <i>Amaranthus deflexus</i> L. na ausência (● —) e presença (●) de 12h diárias de luz, sob diferentes condições salinas induzido pelo NaCl.....	69
Figura 3.	Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) na recuperação de sementes de <i>Amaranthus deflexus</i> L. na ausência (● —) e presença (●) de 12h diárias de luz, sob diferentes condições salinas induzido pelo NaCl.....	71
Figura 4.	Dendrogramas de agrupamento hierárquico de Ward para dissimilaridade entre tratamentos do experimento com diferentes condições salinas (A) e recuperação (B).....	73
Figura 5.	Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de <i>Amaranthus deflexus</i> L. sob diferentes condições térmicas.....	74

CAPÍTULO III - INFLUENCIA DE HERBICIDAS E NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO SOBRE O ESTABELECIMENTO INICIAL DO *AMARANTHUS DEFLEXUS*

Figura 1.	Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos herbicidas no controle de <i>Amaranthus deflexus</i> L. (● — glifosate; ● -- diuron; ▼ nicosulfuron; ▼ --- 2,4 D) (A). Efeito na fitotoxicidade em função dos dias após a aplicação dos herbicidas. (● — sem estresse; ● -- estresse moderado; ▼ estresse severo) (B).....	92
Figura 2.	Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos na massa seca total de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. (● — sem estresse; ● -- estresse moderado; ▼ estresse severo) (A). Efeito dos produtos na massa seca total em função dos dias após à sua aplicação (● — água; ● -- glifosate; ▼ diuron; ▼ --- nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (B).....	94
Figura 3.	Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos na altura de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. (● — sem estresse; ● -- estresse moderado; ▼ estresse severo) (A). Efeito dos produtos na altura em função dos dias após à sua aplicação (● — água; ● -- glifosate; ▼ diuron; ▼ --- nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (B).....	96
Figura 4.	Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos no conteúdo relativo de água em plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. (● — sem estresse; ● -- estresse moderado; ▼ estresse severo) (A). Efeito dos produtos no conteúdo relativo de água em função dos dias	

após à sua aplicação. (● — água; ● — — glifosate; ▼ diuron; ▼ --- nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (B)..... 99

Figura 5. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação na clorofila total em plantas de *Amaranthus deflexus* L. (● — Água; ● — — Glifosate; ▼ Diuron; ▼ --- Nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (A). Efeito dos produtos na clorofila total em função dos dias após a sua aplicação (● — sem estresse; ● — — estresse moderado; ▼ estresse severo) (B).. 101

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV - EFEITO DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE DE ANTIOXIDANTES ENZIMÁTICOS EM PLANTAS DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS.

Figura 1. Efeito da interação produtos × condições hídricas na atividade da catalase (A). Efeito das horas após a aplicação na atividade da catalase das raízes de plantas de *Amaranthus deflexus* L.(B)..... 119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - RECUPERAÇÃO E RESPOSTA GERMINATIVA DE SEMENTES DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE CONDIÇÕES HÍDRICAS E LUMINOSIDADES

- Tabela 1.** Análise de variância (resumida) para primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação em dias, em função dos efeitos de estresses hídricos, fotoperíodos e do efeito combinado nos respectivos experimentos de estresse e recuperação fisiológica com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 46
- Tabela 2.** Primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e recuperação do teste de germinação submetidos a estresses hídricos e fotoperíodos no experimento I com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 48
- Tabela 3.** Comparação de médias de primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação em dias nos experimentos I e II e de recuperação com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 48
- Tabela 4.** Primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e suas respectivas recuperações, submetidos a estresse hídrico e fotoperíodo no experimento II com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos..... 51

CAPÍTULO II - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ESTRESSE SALINO

- Tabela 1.** Valores sumarizados da análise de variância para primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação para sementes de *Amaranthus deflexus* L. em função de condições salinas e térmicas..... 68
- Tabela 2.** Análise de agrupamento hierárquico de Ward para primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação para sementes de *Amaranthus deflexus* L. em função de níveis de condições salinas nos fotoperíodos de 12 horas luz e 24 horas escuro..... 72

CAPÍTULO III - INFLUENCIA DE HERBICIDAS E NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO SOBRE O ESTABELECIMENTO INICIAL DO *AMARANTHUS DEFLEXUS*

Tabela 1.	Análise de deviance os para os efeitos aleatórios dos modelos m1, m2, m3 e m4.....	89
Tabela 2.	Resumo da análise univariada de variância para os efeitos fixos do modelo para as variáveis ALT, DIA, CRA, MST, CLT e FIT.....	90
Tabela 3.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para fitotoxicidade observada em plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, herbicidas e dias após a aplicação.....	91
Tabela 4.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para massa seca totalde <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.....	93
Tabela 5.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para altura de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.....	95
Tabela 6.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para diâmetro do caule de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.....	97
Tabela 7.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para conteúdo relativo de água de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.....	98
Tabela 8.	Médias estimadas pelo método de modelo misto para clorofila total de plantas de <i>Amaranthus deflexus</i> L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.....	100

CAPÍTULO IV - EFEITO DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE DE ANTIOXIDANTES ENZIMÁTICOS EM PLANTAS DE *AMARANTHUS DEFLEXUS* SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Tabela 1.	Análise de deviance os para os efeitos aleatórios dos modelos m1, m2, m3 e m4.....	116
Tabela 2.	Resumo da análise univariada de variância para os efeitos fixos do modelo para as variáveis CAT, SOD, APX e GPX.....	117

Tabela 3.	Valores médios da enzima catalase observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.....	118
Tabela 4.	Valores médios da enzima Dismutase do superóxido observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.....	120
Tabela 5.	Valores médios da Peroxidase do ascorbato observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.....	122
Tabela 6.	Valores médios da enzima glutathiona peroxidase observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.....	124

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivos Geral	23
2.2. Objetivos Específicos	23
3. REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1. Importância do Estudo das Plantas Daninhas	24
3.2. Efeito de Estresses Abióticos na Germinação de Plantas Daninhas	26
3.3. Herbicidas e Seus Efeitos nas Plantas	28
3.4. Interação Entre Herbicidas e Estresses Ambientais	30
REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO I - RECUPERAÇÃO E RESPOSTA GERMINATIVA DE SEMENTES DE <i>AMARANTHUS DEFLEXUS</i> SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS E LUMINOSIDADES	39
1. Introdução	42
2. Material e Métodos	43
3. Resultados e Discussão	45
3.1. Experimento 1	45
3.2. Experimento 2	50
4. Conclusões	56
Referências	57
CAPÍTULO II - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>AMARANTHUS DEFLEXUS</i> SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ESTRESSE SALINO	60
1. Introdução	63
2. Material e Métodos	65

3.	Resultados e Discussão	67
3.1.	Experimento 1	67
3.2.	Experimento 2	73
4.	Conclusões.....	77
	Referências	78
	CAPÍTULO III - INFLUENCIA DE HERBICIDAS E NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO SOBRE O ESTABELECIMENTO INICIAL DO <i>AMARANTHUS DEFLEXUS</i>	81
1.	Introdução.....	84
2.	Material e Métodos	86
3.	Resultados e Discussão	89
4.	Conclusões	103
	Referências	104
	CAPÍTULO IV - EFEITO DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE DE ANTIOXIDANTES ENZIMÁTICOS EM PLANTAS DE <i>AMARANTHUS DEFLEXUS</i> SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS	107
1.	Introdução.....	110
2.	Material e Métodos	112
3.	Resultados e Discussão	116
4.	Conclusões.....	126
	Referências	127

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais causas de perdas de produtividade na agricultura é a constante competição das plantas daninhas com as culturas. Essas invasoras competem diretamente com as culturas por água, luz e nutrientes e se caracterizam pelo crescimento rápido, alta produtividade e longevidade de suas sementes. Por isso, seu controle é essencial no fator de sistemas de produção agrícola (ZAPATA et al., 2011).

A espécie estudada nesta pesquisa é a *Amaranthus deflexus* L. planta daninha popularmente conhecida como caruru rasteiro, sua reprodução ocorre espontaneamente em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das mais importantes plantas invasoras na América do Sul. Essa planta é encontrada em praticamente todo o território brasileiro, causando grandes reduções de produtividade nas áreas agrícolas.

O hábito de crescimento agressivo e a elevada produção de sementes promovem aos carurus alta competitividade com as culturas (CARVALHO, et al., 2008; KNEZEVIC et al., 1997; MURPHY et al., 1996). Essas plantas daninhas reduzem o rendimento e a qualidade do produto colhido, além de prejudicarem o processo de colheita (KLINGAMAN; OLIVER, 1994; KNEZEVIC et al., 1997; ROWLAND et al., 1999).

Por isso, conhecer os principais fatores que governam a germinação, bem como o crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas, é necessário e vem adquirindo maior importância nos últimos anos, principalmente na obtenção dos conhecimentos mínimos para fornecer informações sobre os diferentes estádios fenológicos e padrões de crescimento vegetal de sementes de plantas daninhas e assim efetuar um manejo eficiente e adequado a cada situação agrícola (CARVALHO et al., 2008; CORREIA; DURIGAN, 2004).

Esses resultados permitem a análise do comportamento das plantas perante os fatores ecológicos, bem como sua ação sobre o ambiente, principalmente quanto a sua interferência sobre outras plantas, o que pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas de manejo integrado de plantas daninhas (LUCCHESI, 1984; BIANCO et al., 1995).

Em relação ao manejo dessa espécie, com finalidade de reduzir seu desenvolvimento ou mesmo de eliminá-las, tem-se usado bastante o controle químico. Os herbicidas utilizados nesta pesquisa para controle do caruru são pertencentes a diversos grupos químicos, tais como: (i) Sulfoniluréias (nicosulfuron), que atua na inibição da síntese do acetolactato (ALS), bloqueando a síntese dos aminoácidos leucina, valina e isoleucina; (ii) Ácidos fenóxi-acéticos (2,4 D), um regulador de crescimento; (iii) Ureia substituída (diuron), inibidor do

fotossistema II e o(iv) Derivado da glicina (glifosate), que inibe a síntese dos aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina e triptofano.

A eficácia de um herbicida depende de diversos fatores, tais como as características físico-químicas e a dose aplicada, a espécie a ser controlada (características estruturais próprias), o estágio de desenvolvimento e a biologia da planta daninha, as técnicas de aplicação, a umidade do solo e os fatores ambientais no momento da aplicação dos herbicidas (PROCÓPIO et al., 2003; VICTORIA FILHO, 1985).

Diante da limitação do conhecimento sobre a recomendação e aplicação de técnicas e medidas de controle para esta espécie, bem como a relação entre a ação de herbicidas e o comportamento do crescimento e desenvolvimento desta em ambientes com déficit hídrico, torna-se necessário esta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia dos herbicidas mimetizador de auxina (2,4 D), inibidor do fotossistema II (diuron), acetolactato sintase (nicosulfuron) e da enol-piruvil-shiquimato-fosfato-sintase (EPSP_s) (Glifosate) em pós-emergência no controle de *A. deflexus* determinando, assim, como a fisiologia e a bioquímica dessas plantas são afetadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a influência das condições hídricas, salinas e térmicas na germinação e vigor de sementes de *A. deflexus*;

Estudar a influência do déficit hídrico no crescimento e desenvolvimento de *A. deflexus* após a aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação;

Estudar o efeito de herbicidas, aplicadas em pós-emergência em plantas de *A. deflexus* na atividade de enzimas antioxidantes, submetidas a diversas condições hídricas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DAS PLANTAS DANINHAS

A denominação do termo “plantas daninhas” está relacionada com sua indesejável presença em ambientes de produção agrícola e/ou inutilidade econômica. Considerando um conceito mais amplo, uma planta só deve ser considerada daninha se estiver direta ou indiretamente prejudicando uma determinada atividade humana, como, por exemplos, plantas interferindo no desenvolvimento de culturas comerciais, plantas tóxicas em pastagens, plantas ao lado de refinarias de petróleo, plantas estranhas no jardim, etc (SILVA et al., 2007).

Embora não se possa dizer, a priori, se uma planta é ou não daninha, devido ao próprio conceito estabelecido e considerando as atitudes humanas, pois em determinadas situações, podem ser extremamente úteis, algumas têm sido chamadas de plantas daninhas comuns e outras de plantas daninhas verdadeiras (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

As plantas daninhas comuns são aquelas que não possuem habilidade de sobreviver em condições adversas. É o que ocorre, por exemplo, num sistema rotacional milho/soja, pois as plantas de milho que surgirem das sementes remanescentes, provenientes das sementes que não foram colhidas na safra anterior, passam a ser consideradas daninhas à cultura da soja.

Por outro lado, as plantas daninhas consideradas verdadeiras, possuem características que permitem fixá-las como infestantes ou daninhas (MARINIS, 1972; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011). São plantas não melhoradas geneticamente, que possuem condições de crescer em condições ambientais adversas (temperaturas altas ou baixas, solos com déficit hídrico, salinos, alagados, entre outros), apresentam rusticidade, resistência ao ataque de pragas e doenças, possuem dormência e germinação desuniformes que auxiliam na dispersão da espécie e formas variadas de multiplicação (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Assim sendo, as plantas daninhas se destacam dentre os fatores bióticos presentes em um sistema agrícola, como um dos principais componentes que interferem negativamente sobre as culturas. Seus efeitos negativos se manifestam sobre a quantidade e a qualidade da produção agrícola, consequência da competição pelos recursos de crescimento oferecidos pelo ambiente, da alelopatia ou por serem agentes que hospedam pragas e doenças, permitindo a multiplicação destas (CARVALHO, 2006).

No Brasil, Lorenzi (2014) estima que as perdas ocasionadas às culturas agrícolas pela interferência das plantas daninhas estejam em torno de 20 a 30%. Já na produtividade de grãos, estimam-se reduções ainda maiores (15 a 80%) (BARROSO et al., 2010; BRESSANIN

et al., 2013; SALGADO et al., 2007; SCHOLTEN et al., 2011). Entretanto, o grau de interferência das plantas daninhas é provocado, dentre vários fatores, pela época e duração do período de convivência com a cultura e também pelo manejo empregado (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011; PITELLI, 1985).

O conhecimento das características biológicas das plantas daninhas favorece a escolha da forma e do momento em que a intervenção deve ser utilizada. As infestantes apresentam padrões de germinação, emergência, crescimento e competição complexos, sendo bastante diferentes entre as espécies, de modo que as medidas de manejo precisam ser adequadas a estas características, com o objetivo de obter o melhor controle, com o menor custo e impacto ambiental (CARVALHO, 2006). Todavia, esse trabalho é dificultado pela carência de informações básicas sobre a biologia e ecologia dessas plantas.

As plantas classificadas no gênero *Amaranthus* são espécies vegetais que têm por centro de origem a região da América tropical (CARVALHO; CRISTOFFOTELI, 2007), sendo observadas com elevada frequência infestando as áreas agrícolas, onde populações mistas, constituídas por duas ou mais espécies, são comuns (HORAK; LOUGHIN, 2000).

Os carurus, como popularmente são conhecidos, possuem crescimento rápido e podem desenvolver-se em diferentes condições agrônômicas e em altitudes que variam de 0 a 3000 metros acima do nível do mar (DYNER et al., 2007). Ocorrem espontaneamente em regiões tropicais e subtropicais, sendo encontradas em praticamente todo o território brasileiro, causando grandes reduções de produtividade nas áreas agrícolas.

Cerca de 60 espécies de plantas são classificadas botanicamente, no mundo, como pertencentes ao gênero *Amaranthus* e aproximadamente 10 destas possuem importância como plantas daninhas das lavouras brasileiras (KISSMANN; GROTH, 1999). As espécies de carurus que infestam as culturas agrícolas no Brasil são plantas anuais, reproduzidas exclusivamente por sementes ou frutos e, de modo geral, são de difícil identificação prática no campo. Em algumas espécies de carurus, uma planta de grande porte pode produzir quantidades superiores a 200.000 sementes (LORENZI, 2008).

O hábito de crescimento agressivo e a elevada produção de sementes promovem aos carurus alta competitividade com as culturas por água, luz e nutrientes (CARVALHO et al., 2008; KNEZEVIC et al., 1997; MURPHY et al., 1996). Essas plantas daninhas reduzem o rendimento e a qualidade do produto colhido, além de prejudicarem o processo de colheita (KLINGAMAN; OLIVER, 1994; KNEZEVIC et al., 1997; ROWLAND et al., 1999).

A espécie *A. deflexus* popularmente conhecida como caruru rasteiro, ocorre espontaneamente em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das mais importantes plantas

daninhas na América do Sul. Essa planta é encontrada em praticamente todo o território brasileiro, causando grandes reduções de produtividade nas áreas agrícolas, uma vez infestadas e não controladas.

3.2 EFEITO DE ESTRESSES ABIÓTICOS NA GERMINAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS

O entendimento da germinação das sementes de espécies de plantas daninhas em relação aos fatores ambientais é importante para a interpretação do comportamento ecológico das espécies no campo, ao mesmo tempo que possibilita o desenvolvimento de estratégias de redução do potencial do banco de sementes em áreas cultivadas (SOUZA FILHO, 2006).

As plantas daninhas, em especial, dependem diretamente da germinação para infestar e competir com as espécies cultivadas (ROBERTS, 1999). Deste modo, a promoção da germinação das espécies invasoras pode ser afetada por condições de luz, temperatura, ação de fitormônios e umidade, que são variáveis durante o período de formação das sementes (TAKAHOSHI, 1995).

Letchamo e Gosselin (1996) constataram que a luz não apenas consegue quebrar a dormência e promover a germinação de outras espécies, como também provoca inibição em algumas delas. Fleck et al. (2001) observaram que a luz é importante para promover a germinação de *Bidens pilosa*L. Entretanto, para *Sida rhombifolia*L. a luz não é essencial para a germinação de suas sementes.

Devido à diversidade dos estados de salinidade e luz, e a variabilidade de respostas germinativas das sementes, é difícil a previsão das infestações da cultura, tornando-se indispensável o conhecimento dos processos responsáveis pela germinação das plantas daninhas. A salinidade é um dos principais fatores do ambiente que limitam o crescimento e a produtividade de plantas. A redução do crescimento e da produtividade das plantas sob salinidade tem sido atribuída ao estresse osmótico, provocado pela redução do potencial hídrico externo e ao efeito iônico causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (MUNNS; TESTER, 2008).

Em resposta, a planta promove uma série de modificações bioquímicas, acarretando maior produção de solutos compatíveis (como aminoácidos, principalmente prolina) na célula, os quais reduzirão o potencial hídrico do vegetal, sem danificar os compartimentos subcelulares (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os efeitos da acumulação excessiva dos sais solúveis sobre as plantas podem resultar além de dificuldades na absorção de água, toxicidade de íons específicos e interferência em processos fisiológicos, redução no crescimento e desenvolvimento das plantas (DIAS et al., 2011). Porém, as diferentes espécies e cultivares de plantas reagem diferentemente à salinidade, isto é, cada espécie de planta ou cultivar tolera até determinada salinidade, sem reduzir seu rendimento potencial (Salinidade Limiar - SL), a partir da qual passa a diminuir a produtividade na medida em que se incrementa a salinidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

Os efeitos negativos da salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura (JUNIOR; SILVA, 2010). Durante o estresse salino, todos os principais processos da planta, como a fotossíntese, síntese de proteína e metabolismo lipídico, são afetados e as primeiras respostas são a redução da taxa de expansão da superfície foliar, seguida de uma cessação de expansão quando o estresse se intensifica (PARIDA; DAS, 2005).

O déficit hídrico é outro fator abiótico que apresenta papel fundamental, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, pois afeta negativamente a germinação, o estande das plantas e o desenvolvimento vegetativo (OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2009). Além disso, esse estresse abiótico também pode aumentar a competição entre plantas daninhas e culturas.

De acordo com Marcos Filho (2005) a água é um dos principais fatores que afetam a germinação, pois está envolvida direta e indiretamente em todas as demais etapas da mesma, além de reativar o metabolismo. Segundo Verslueset al.(2006), os potenciais osmóticos muito negativos atrasam e diminuem a germinação, havendo um nível mínimo de umidade que a semente deve atingir para germinar, o qual depende da composição química e permeabilidade da testa. Portanto, é de suma importância a presença de um nível adequado de hidratação que permita a reativação dos processos metabólicos, culminando no crescimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2005).

Os estudos relacionados com a resposta germinativa de sementes submetidas à condição de estresses artificiais são ferramentas para um melhor entendimento da capacidade de sobrevivência e adaptação de espécies em condições de estresses naturais, como seca e solos salinizados, comuns em regiões agrícolas, bem como a avaliação da sensibilidade dessas espécies em estudo para um melhor entendimento da agressividade e estratégias de dominância das mesmas, em ambientes adversos (PEREIRA et al., 2012).

3.3 HERBICIDAS E SEUS EFEITOS NAS PLANTAS

Existem muitos componentes do ambiente agrícola que afetam negativamente a produção agrícola, sendo as plantas daninhas um dos fatores mais importantes relacionados a interferências diretas (VITORINO et al., 2012). Logo, para se evitar perdas num sistema de produção e maximizar sua economia, há necessidade de realizar o manejo correto das plantas daninhas.

São usados os mais variados métodos de controle de plantas daninhas, e, atualmente, verifica-se grande evolução destes, abrangendo desde o arranque das plantas com as mãos até o uso de sofisticados equipamentos de microondas para exterminar as sementes no solo (SILVA et al., 2007). Com pouco mais de meio século de uso, o manejo químico, por meio do uso de herbicidas, é uma tecnologia bastante difundida (CHRISTOFFOLETI et al., 2005).

A aplicação de herbicidas para o controle das plantas daninhas proporciona agilidade e eficiência ao sistema de produção, sendo que a aplicação desses defensivos popularizou-se principalmente após a viabilização dos custos (CARVALHO, 2006). Pela menor dependência da mão-de-obra, eficiência no controle de plantas daninhas na linha de plantio e não afetar o sistema radicular das culturas, permitindo o cultivo mínimo ou plantio direto na palhadas culturas.

Todavia, a eficácia de um herbicida depende de diversos fatores, como, por exemplos, as características físico-químicas e dose do produto, a espécie a ser controlada (características estruturais próprias), o estágio de desenvolvimento e a biologia da planta daninha, o estágio de desenvolvimento da cultura, as técnicas de aplicação, os fatores ambientais no momento e após a aplicação dos herbicidas, além das características físico, químicas e biológicas do solo para os herbicidas aplicados em pré-emergência (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2005).

Para atingir seu objetivo, o herbicida depende de outros fatores, como a absorção, a translocação, o metabolismo e a sensibilidade da planta a este, e/ou a seus metabólitos. Por isso, o simples fato de um herbicida atingir as folhas da planta e/ou ser aplicado no solo onde essa planta se desenvolve, não é suficiente para que ele exerça a sua ação. Há necessidade de que ele penetre na planta, transloque e atinja a organela, local onde irá atuar (SILVA et al., 2007).

Dentre os herbicidas estudados neste trabalho, o glifosate se destacapor ser um dos mais usados no Brasil e por apresentar amplo espectro. A rápida translocação do glifosate das folhas para as raízes, rizomas e meristemas apicais é uma das mais importantes características

desse herbicida. O glifosate é móvel no floema e é rapidamente translocado por todas as partes da planta, mas tende a se acumular nas regiões meristemáticas. As cargas negativas da parede celular e da plasmalema repelem o glifosate, fortemente aniônico. Essa falta de uma forte ligação pode contribuir para o movimento do glifosate no apoplasto, ou seja, ele apresenta movimentação tanto simplástica como apoplástica (YAMADA; CASTRO, 2004).

O 2,4-D amina é um herbicida de grande uso na agricultura, empregado no controle de plantas daninhas em pós-emergência e dessecação. Esse herbicida é uma auxina sintética, que atua provocando distúrbios diversos, tais como crescimento anormal de tecidos, obstrução do floema, morte do sistema radicular, epinastia das folhas, entre outros, os quais levam as plantas sensíveis à morte (KIRKWOOD; MCKAY, 1994; RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Outros efeitos do 2,4-D na planta são relatados por Saad (1978), tais como: encarquilhamento das folhas, encurvamento da folha sobre a face inferior, as hastes se curvam para o solo e se tornam rígidas (às vezes trincadas) ou aumentam de volume em quase toda sua extensão, as cascas se fendem e dentro dessas fissuras aparecem galhos e raízes, os rebentos em desenvolvimento param de crescer, há o aparecimento de órgãos mal constituídos, as plantas perdem sua coloração verde, amarelecem e morrem.

O nicosulfuron é um herbicida pertencente ao grupo químico das sulfoniluréias, que inibe a síntese do acetolactato (ALS), primeira enzima comum à rota de biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina, em plantas e microrganismos (ANDERSON et al., 1998). Após a absorção, estes herbicidas são rapidamente translocados para áreas de crescimento ativo (meristemas, ápices), onde o crescimento é inibido em plantas susceptíveis. As plantas acabam morrendo devido à incapacidade de produzir os amino (NICOLAI et al., 2008).

O diuron é um herbicida do grupo das uréias substituídas. Seu mecanismo de ação é a destruição do Fotossistema II e consequente interrupção da fotossíntese. Ele atua ligando-se à proteína D1, no sítio onde se acopla a plastoquinona "Qb", interrompendo o fluxo de elétrons entre os Fotossistemas (RIZZARDI et al., 2004). Dessa forma, a intensidade de luz interceptada pela planta pode influenciar o controle de plantas com a utilização desse herbicida (CAMPOS et al., 2012).

A absorção do diuron ocorre predominantemente pelas raízes, sendo baixa a absorção pelas folhas. A translocação é feita pelo xilema. Os sintomas de fitotoxicidade aparecem inicialmente nas folhas, que ficam com coloração verde-clara, evoluindo para necrose. Os sintomas podem aparecer em poucas horas após a aplicação, se a dose for alta, ou em vários dias se houver acúmulo no solo e absorção gradual (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

3.4 INTERAÇÃO ENTRE HERBICIDAS E ESTRESSES AMBIENTAIS

A eficácia de um herbicida depende de diversos fatores como as características físico-químicas e dose do herbicida, a espécie a ser controlada (características estruturais próprias), o estágio de desenvolvimento e as características da biologia das plantas daninhas, técnicas de aplicação, a umidade do solo e fatores ambientais no momento da aplicação de herbicidas, ou seja, temperatura, umidade do ar, precipitação, radiação solar e vento (VICTORIA FILHO, 1985).

Segundo Machado et al. (2000) a umidade do solo pode condicionar direta ou indiretamente a eficiência de um herbicida. No caso de herbicidas de aplicação em pós-emergência das plantas daninhas, o conteúdo de água no solo influencia o estado hídrico das plantas. Rahman e James (1991) verificaram que quando a umidade do solo foi reduzida para 55% da capacidade de campo, no momento da pulverização, houve diminuição na eficiência das nove sulfoniluréias estudadas para o controle de *Sinapsis alba* L.

De acordo com Pereira et al. (2012) plantas de *Urochloa decumbens* Stapf. pulverizadas com sethoxydim quando irrigadas adequadamente apresentavam controle de 93,5%, enquanto que plantas submetidas a estresse hídrico apresentaram controle reduzido para 78,2%.

Abbott e Sterling (2006) relatam que o déficit hídrico no ambiente no qual a planta daninha está se desenvolvendo influencia sua absorção, translocação e metabolismo, comprometendo, assim, a eficiência do produto aplicado. Pereira (2010), em estudo com a *Brachiaria decumbens* Stapf. no qual se aplicou herbicidas inibidores da acetil coenzima A carboxilase (ACCase), observou que houve menor controle destas quando mantidas sob estresse hídrico, o que foi no máximo de 80%, proporcionado pelo herbicida haloxyfop-methyl.

Em plantas de *Avena sativa* L. não irrigadas por até 14 dias após pulverização de 0,25 kg ha⁻¹ de fluazifop-p-butyl ou 0,18 kg ha⁻¹ de glifosate demonstraram, segundo Dickson et al. (1990), maior tolerância aos herbicidas do que plantas irrigadas normalmente. O controle de *Digitaria sanguinalis* L. com 30 g ha⁻¹ de haloxyfop-methyl foi de 92% para plantas não-estressadas e 8% para aquelas em estresse hídrico. Enquanto que o controle de *Sorghum halepense* (L.) Pers. tratado com 25 g ha⁻¹ de haloxyfop-methyl foi de 92% para plantas não-estressadas e 12% para aquelas em déficit hídrico (PEREGOY et al., 1990).

De acordo com pesquisas realizadas por Boydston (1990), o menor controle de *Setaria viridis* (L.) Beauv. foi verificado com sethoxydim quando essa planta foi submetida a

um menor teor de água no solo. Já Kells et al. (1984) verificaram menor absorção foliar de fluazifop-p-butil, devido a baixa umidade no solo. Roman et al. (2005), observaram que plantas de *Euphobia heterophylla*L. quando submetidas a aplicação de carfentrazone-ethyl e estavam sob déficit hídrico apresentavam um menor controle, enquanto aquelas aplicadas em condições adequadas de umidade do solo houve um maior controle.

Desta forma, torna-se importante conhecer como o déficit hídrico pode influenciar a ação de herbicidas no controle de plantas daninhas (VITORINO; MARTINS, 2012).

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. B.; STERLING, T. M. Recovery of African rue seedlings from water stress: Implications for recruitment and invasion. African rue (*Peganum harmala*) seedling response to herbicides applied under water-deficit stress. **Weed Science**, Lawrence, v. 54, n. 2, p. 198-204, 2006.
- ANDERSON, D. D.; NISSEN, S. J.; MARTIN, A. R.; ROETH, F. W. Mechanism of primisulfuron resistance in a shattercane (*Sorghum bicolor*) biotype. **Weed Science**, Lawrence, v. 46, n. 1, p. 158-162, 1998.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. GHEYI, H.R., MEDEIROS, J.F., DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).
- BARROSO, A. A. M.; YAMAUTI, M. S.; ALVES, P. L. C. A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 6, P. 609-616, 2010.
- BOYDSTON, R. A. Soil water content affects the activity of four herbicides on green foxtail. **Weed Science**, Lawrence, v. 38, n. 6, p. 578-582, 1990.
- BRESSANIN, F. N.; NEPOMUCENO, M.; MARTINS, J. V. F.; CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A. Influência da adubação nitrogenada sobre a interferência de plantas daninhas em feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 043-052, 2013.
- BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Coord.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.
- CAMPOS, C. F.; VITORINO, H. S.; MARTINS, D. Controle de plantas daninhas com diuron em diferentes condições de luz. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v.11, n.3, p. 258-268, 2012.
- CARVALHO, S. J. P. **Características biológicas e suscetibilidade a herbicidas de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus***. 2006. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

CARVALHO, S. J. P.; CRISTOFFOTELI, P. J. Estimativa da área foliar de cinco espécies do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-324, 2007.

CARVALHO; S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO; R. F.; CHRISTOFFOLETI.; P. J. Crescimento e desenvolvimento de cinco espécies de plantas Daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.317-326, 2008.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: autores, 2005. 49p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P. Manejo de plantas daninhas na cultura da Cana-de-açúcar: Novas moléculas herbicidas. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2005. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba,2005. 1 CD-ROM

DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; COSME, C. R.; GHEYI, H. R. Qualidade da água na agricultura. In DIAS, N.S.; SILVA, M.R.F.; GHEYI, H.R. **Recursos hídricos: usos e manejos**. São Paulo: editora livraria da física, 2011, p. 31-62.

DICKSON, R. L.; ANDREWS, M.; FIELD, R. J.; DICKSON, E. L. Effect of water stress nitrogen and gibberellic acid on fluazifop and glifosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Science**, Lawrence, v. 38, n, 1, p. 54-61, 1990.

DYNER, L.; DRAGO, S. R.; PIÑEIRO, A.; SÁNCHEZ H.; GONZÁLEZ, R.; VILLAAMIL, E.; VALENCIA, M. E. Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 57, n. 1, p. 69-78, 2007.

FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; VIDAL, R. A.; JÚNIOR, A. M. Efeitos de fontes nitrogenadas e de luz na germinação de sementes de *Bidens pilosa* e *Sida rhombifolia*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 595-600, 2001.

FUERST, E. P.; NORMAN, M. A. Interactions of herbicides with photosynthetic electron transport. **Weed Science**, Lawrence, v. 39, n. 3, p. 458-464, 1991.

HORAK, M.J.; LOUGHIN, T.M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n, 3, p.347-355, 2000.

JUNIOR, J. A. L.; SILVA, A. L. P. **Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, n.11; p. 1-21, 2010.

KELLS, J. J.; MEGGIT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation, and activity of fluazifop-P-butyl as influenced by plant growth stage and environment. **Weed Science**, Lawrence, v. 32, n. 2, p. 143-149, 1984.

KIRKWOOD, R. C.; MCKAY, I. Accumulation and elimination of herbicides in select crop and weed species. **Pesticide Science**, New York, v. 42, n. 3, p. 241-249, 1994.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 1999. v.2, 978 p.

KLINGAMAN, T. E.; OLIVER, L.R. Palmer amaranth (*Amaranthus palmerii*) interference in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, Lawrence, v. 42, n. 4, p. 523-527, 1994.

KNEZEVIC, S. Z.; HORAK, M. J.; VANDERLIP, R. L. Relative time of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) emergence is critical in pigweed-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] competition. **Weed Science**, Lawrence, v. 45, n. 4, p. 502-508, 1997.

LETCHAMO, W.; GOSSELIN, W. A. Light, temperature and duration of storage govern the germination and emergence of *Taraxacum officinale* seed. **Journal of Horticultural Science**, Headley, v. 71, n. 3, p. 373-377, 1996.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7º Ed. Plantarum, Nova Odessa, Brasil, 2014. 384 p.

MACHADO, R. A.; COSTA, A. G. F.; ALVES, P. L. C. A.; KAWAGUCHI, I. T. Efeito do estresse hídrico sobre a eficiência do *halosulfuron* no controle de tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 265-275, 2000.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005, 495 p.

MARINIS, G. Ecologia de plantas daninhas. In: CAMARGO, P. (Ed.), **Texto Básico de Controle de Plantas Daninhas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 4ª edição, p. 1-74, 1972.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.59, n. 1, p.651-681, 2008.

MURPHY, S. D.; TAKUBU, Y.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Effect on planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 4, p. 865-870, 1996.

NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS (Grupo B). 3. ed. In: CHRISTOFFOLETI, P. J. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas, 2008. Cap. 2, p. 35-49.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 48-56, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR.; R. S.; CONSTATIN, J.; INOUE, M. H. Biologia de Plantas Daninhas. 22. ed. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, p. 348.

PAUL, R.; ELMORE, C.D. Weeds and the C4 syndrome. **Weeds Today**, Champaign, v. 15, n. 1, p. 3-4, 1984.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PEREIRA, M. R. R. **Potenciais hídricos no solo sobre a eficácia de herbicidas em plantas daninhas monocotiledôneas**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbense* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 537-545, 2012.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; MARTINS, D.; SILVA, J. I. C.; SOUZA, G. S. F.; VILLALBA, J. Effect of water stress on herbicide efficiency applied to *Urochloa decumbes*. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 39, n. 1, p. 211-220, 2012.

PEREGOY, R. S.; COZINHA, L. M.; JORDAN, P. W.; GRIFFIN, J. L. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). **Weed Science**, Lawrence, v. 38, n. 4/5, p. 331-337, 1990.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n. 129, p. 16-27. 1985.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M.; SILVA, A. A. E. A. F. **Anatomia foliar de plantas daninhas do Brasil**. Viçosa: Edição dos Autores, 2003. v.1, 118 p.

RAHMAN, A.; JAMES, T. K. **Influence of soil moisture on the post emergence activity of nine sulfonylurea herbicides**. Proceedings, Asian Pacific Weed Society Conference. n. 1, p. 331-337. 1991.

RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMAN, K. Aspectos gerais do controle de plantas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 105-144.

ROBERTS, E. H. A search for pattern and form. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 9, n. 1, p. 181-208, 1999.

RODRIGUES, R. B.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592p.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M. C. F. Efeito do teor de umidade do solo na seletividade e na eficácia de carfentrazone-ethyl no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 4, n. 2, p. 114-122, 2005.

ROWLAND, M.W.; MURRAY, D.S.; VERHALEN, L.M. Full-season Palmer amaranth (*Amaranthus palmerii*) interference with cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Science**, Lawrence, v. 47, n. 3, p. 305-309, 1999.

SAAD, O. A vez dos herbicidas. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1978. 267p.

SALGADO, T. P.; SALLES, M. S.; MARTINS, J. V. F.; ALVES, P. L. C. A. Interferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 443-448, 2007.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. (2007). Biologia de Plantas daninhas, In: **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**, SILVA, A. A.; SILVA, J. F. p.17-61, Universidade Federal de Viçosa, ISBN 978-857-2692-75-5, Viçosa.

SCHOLTEN, R.; PARREIRA, M. C.; ALVES, P. L. C. A. Período anterior à interferência das plantas daninhas para a cultivar de feijoeiro 'Rubi' em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 313-320, 2011.

SOUZA FILHO, A. P. S. Interferência potencialmente alelopática do capim-gengibre (*Paspalum maritimum*) em áreas de pastagens cultivadas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.3, p.451-456, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**.5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

TAKAHOSHI, N. Physiology of dormancy. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHI HARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. v. 2, p. 45-65.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**,Michigan, v. 45, n. 4, p. 523-539, 2006.

VICTORIA FILHO, R. Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 31-37, 1985.

VITORINO, H. S.; MARTINS, D.; MARQUES, R. P.; GARBIATE, M. V. Efeito do déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de picão-preto.**Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 692-698, 2012.

VITORINO, H. S.; MARTINS, D. Efeito do déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de *Ipomoea grandifolia*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 185-191, 2012.

ZAPATA, N.; VARGAS, M.; MEDINA, P. Actividad fitotóxica de un extracto N-exano obtenido de la corteza de *Drimys winteri* sobre cuatro especies de Malezas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 323-331, 2011.

YAMADA, T.; CASTRO, P.R.C. Glifosato, herbicida com singular modo de ação: Efeitos secundários e implicações fisiológicas e agrônômicas. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMA

AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL COM COLHEITA ECONÔMICA MÁXIMA, 1., 2004, São Pedro, SP. **Anais**. São Pedro, 2004. 1 CD-ROM.

CAPÍTULO I

RECUPERAÇÃO E RESPOSTA GERMINATIVA DE SEMENTES DE *Amaranthus Deflexus* SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS E LUMINOSIDADES

RESUMO

Objetivou-se avaliar, o efeito do estresse hídrico e luminosidade sobre o comportamento germinativo e vigor de sementes de *Amaranthus deflexus* L. A semeadura foi realizada em placas de petri contendo duas folhas de papel de filtro umedecidas com água destilada (controle) ou com soluções de polietileno glicol 6000 (PEG 6000), de modo a fornecer os potenciais osmóticos de -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa, no experimento 1, bem como -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,5 MPa no experimento 2. Ao final do teste, as sementes não germinadas em cada tratamento foram lavadas e colocadas para germinar, em papel filtro, umedecido com água. A germinação e o vigor das sementes foram avaliadas através da primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, totalizando doze tratamentos, com quatro repetições de 50 sementes cada, em ambos os ensaios. O estresse hídrico afetou negativamente o desempenho das sementes de *A. deflexus* reduzindo a germinação e vigor a partir de -0,1 MPa. A germinação das sementes, da subamostra geneticamente variável de *A. deflexus* foi comprometida pelo escuro total, independentemente dos níveis de estresse aplicado. Houve aumento de germinação de sementes após aplicação da recuperação das mesmas nos maiores níveis de estresse hídrico.

Palavras-chave: Caruru rasteiro. Estresse osmótico. Emergência de plântula. Fotoperíodo.

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate, in two experiments, the effect of hydric stress and luminosity on the germination behavior and vigor of *Amaranthus deflexus* L seeds. Sowing was done in petri dishes containing two sheets of “germitest” paper towel, moistened with distilled water (control) or with solutions of polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) in order to provide the hydric potentials of -0.3, -0.6, -0.9, -1.2 and -1.5 MPa, in experiment 1, as well as -0.1, -0.2, -0.3, -0.4 and -0.5 MPa in experiment 2. By the end of the trial, in both experiments, the non-germinated seeds from each treatment were washed and placed to germinate in a paper towel substrate, moistened with water, to observe the continuation of their germination process. Germination and vigor of seeds were assessed through First Counting, germination test, speed index and average germination time. The experimental design was entirely randomized, in a 2 x 6 factorial scheme, amounting to twelve treatments with four replications of 50 seeds each, in both trials. Hydric stress affected the performance of *A. deflexus* seeds negatively, reducing germination and vigor from -0.1 MPa. The germination of *A. deflexus* seeds was compromised by total darkness, regardless of the stress levels applied. There was an increase in the germination of *A. deflexus* seeds after the application of their recovery in higher levels of hydric stress.

Keywords: Caruru rasteiro. Osmotic stress. Photoperiod. Seedling emergence. Photoperiod.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se conhecer os principais fatores que governam a germinação de sementes de plantas daninhas vem adquirindo maior importância nos últimos anos, principalmente em função da obtenção dos conhecimentos necessários para efetuar um manejo eficiente e adequado a cada situação agrícola. Nesse contexto, a germinação é um processo-chave na dinâmica e organização das espécies vegetais (FILETI et al., 2011).

O déficit hídrico tem papel fundamental, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, pois afeta negativamente a germinação, o estande das plantas e o desenvolvimento vegetativo (OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2009). Além disso, esse tipo de estresse abiótico é capaz de aumentar a competição entre plantas daninhas e culturas.

De acordo com Marcos Filho (2005), a água é um dos principais fatores que exercem influência sobre a germinação, pois está envolvida direta e indiretamente em todas as etapas, além de reativar o metabolismo. Potenciais osmóticos muito negativos atrasam e diminuem a germinação, havendo um nível mínimo de umidade que a semente deve atingir para germinar, o qual depende da composição química e permeabilidade da testa (VERSLUES et al., 2006). Por isso, é de suma importância a manutenção de um nível adequado de hidratação que permita a reativação dos processos metabólicos, culminando no crescimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2005).

Outros fatores que podem exercer influência direta no processo germinativo são a luz e temperatura, principalmente na emergência das plântulas em condições de campo. Esta situação determina, em algumas espécies vegetais, não só a fração de sementes que germina, como também a velocidade de germinação, mesmo quando fornecidas condições adequadas de umidade e temperatura (VIDAL et al., 2007).

Sabe-se que sementes do gênero *Amaranthus* estão presentes em quantidades elevadas nos bancos de sementes, podendo, determinadas espécies de caruru de grande porte, produzir, em uma única planta, quantidades superiores a 200.000 sementes (LORENZI, 2008). Uma vez emergidas, infestam severamente áreas de produção agrícola, elevando o grau de dificuldade de controle da comunidade infestante e os custos de produção.

Para compreender o processo de infestação desta espécie em áreas de cultivo com ou sem déficit hídrico, o estudo da germinação de sementes torna-se indispensável. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de estresse hídrico e luminosidade sobre a germinação e vigor de sementes de *Amaranthus deflexus* L.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza-CE. O primeiro ensaio foi denominado “experimento I” e o segundo “experimento II”. Para ambos foram utilizadas sementes de *A. deflexus* coletadas na fazenda experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN.

Para execução dos experimentos, foi coletada uma subamostra de panículas contendo sementes maduras de 30 plantas de *A. deflexus* provavelmente geneticamente variáveis para algumas características, devido ao seu mecanismo natural de alogamia ou reprodução por polinização cruzada. As panículas foram colocadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 27-28°C, até a deiscência dos frutos. O beneficiamento das sementes foi realizado pela fricção dos frutos num recipiente, seguida de agitação para a separação das sementes das estruturas dos frutos secos.

Para o teste de germinação, realizou-se a semeadura em placas de petri contendo duas folhas de papel filtro, tipo germitest, umedecidas com água destilada (controle) ou com soluções de polietileno glicol 6000 (PEG 6000), de modo a fornecer os potenciais hídricos de -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa no experimento 1.

Os resultados observados no experimento I criaram a demanda da avaliação de níveis mais baixos de estresse, visando observar melhor compreensão sobre o ponto de máxima influência dos níveis de estresse hídrico sobre a germinação das sementes. Para tanto foi realizado o experimento II com os potenciais -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,5 MPa.

As concentrações de PEG 6000, para cada potencial, foram obtidas conforme Villela et al. (1991). As sementes foram mantidas em placas de petri, com tampa, vedadas com Parafilm® (BRAND, Alemanha), a fim de reduzir a perda de umidade, e acondicionadas em germinador tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D), à 25 °C com fotoperíodo de 12 horas de luz diária. A temperatura utilizada foi definida para simular microclima em condições de germinação a campo, já a ausência de luz, escuro constante, simulou a germinação de sementes de plantas daninhas sob condições de manejo conservacionista de plantio direto, por quatorze dias.

A recuperação das sementes foi avaliada ao final de cada experimento, as sementes não germinadas em cada tratamento foram lavadas e colocadas para germinar em placas de petri com papel filtro, tipo germitest, umedecidas com água destilada para observação da continuidade do processo germinativo. As sementes foram avaliadas quanto à germinação e

ao vigor, sendo estes, representados pela primeira contagem de germinação, analisando-se as seguintes variáveis:

Primeira contagem de germinação (PC) - conduzida juntamente com o teste de germinação, computando-se a porcentagem de plântulas normais no quarto dia após a instalação do ensaio, conforme recomendado por Brasil (2009).

Teste de germinação (TG) - realizado no décimo quarto dia após a semeadura, por ocasião do final do experimento, considerando-se germinadas as sementes que emitiram raiz primária. Os resultados foram expressos em porcentagem média, com base no número de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação (IV) - calculado pela razão entre o somatório do número de sementes germinadas a cada dia, pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação (MAGUIRE, 1962):

$$IV = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}, \text{ em que IV é índice de velocidade de germinação; } G_1, G_2, \dots, G_n$$

correspondem aos números de plântulas computadas na primeira, segunda, terceira e última contagem; $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$, correspondem aos números de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira e última contagem.

Tempo médio de germinação (TM) - obtido através de contagens diárias das sementes germinadas até o décimo quarto dia após a semeadura e calculado através da fórmula abaixo, proposta por Labouriau (1983), sendo os resultados expressos em dias.

$$TM = \Sigma (n_i t_i) / \Sigma n_i, \text{ em que:}$$

TM = tempo médio de germinação (dias);

n_i = número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem;

t_i = tempo decorrido entre o início da germinação e a i -ésima contagem.

Em ambos os ensaios, adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes, em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator constituído por dois fotoperíodos (F1 = 12 horas de luz e F2 = escuro constante) e o segundo fator constituído por seis níveis de estresse hídrico (0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa no experimento 1 e 0; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,5 MPa no experimento 2).

A análise de variância foi processada utilizando o teste F de Snedecor ($p < 0,05$) para comparação de variâncias dos tratamentos e aplicados o teste de comparações múltiplas de médias de Tukey ($p < 0,05$) para o primeiro e realizado o ajustamento de funções de regressão para o segundo fator.

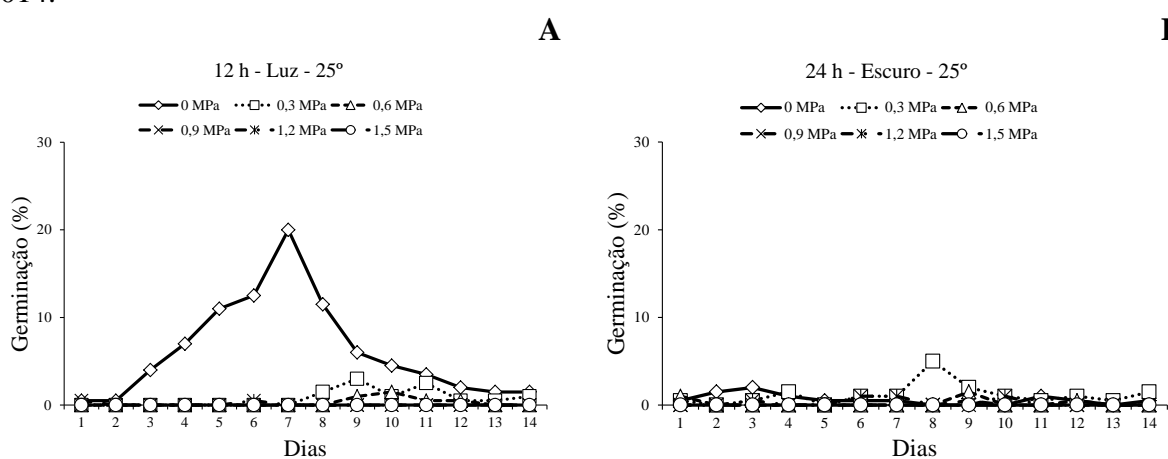
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTO 1

Ocorreu baixo índice de germinação das sementes de *A. deflexus* ao longo dos 14 dias no fotoperíodo de 12 horas luz, obtendo-se 3 e 1,5% no intervalo do sétimo ao décimo segundo dia após a semeadura (DAS), nos tratamentos -0,3 e -0,6 MPa, respectivamente. Foi observado o máximo de 20% de germinação no tratamento de 0 MPa (Figura 1A). Já na ausência de luz (Figura 1B), os índices de germinação foram ainda mais baixos, sugerindo que esta espécie tem natureza fotoblástica positiva, de acordo com Labouriau (1983).

De forma geral, espécies de plantas daninhas são sensíveis à ausência de luz, inibindo os processos metabólicos de lise e divisão celular e, conseqüentemente, a germinação. Contudo, Não é possível generalizar a resposta observada na ausência luz para o caruru, considerando que as sementes utilizadas foram de uma subamostra de uma população de plantas resultante de uma espécie tipicamente alógama e, seguramente, geneticamente variável para várias características.

Figura 1. Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Na primeira contagem de germinação, teste de germinação e índice de velocidade de germinação, a análise de variância demonstrou efeito significativo ($p < 0,01$) para o efeito combinado entre o estresse hídrico e fotoperíodo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (resumida) para primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (TG), índice de velocidade de germinação (IV) e tempo médio de germinação em dias (TM), em função dos efeitos de estresses hídricos (E), fotoperíodos (F) e do efeito combinado (E x F) nos respectivos experimentos de estresse e recuperação fisiológica com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos.

FV	G.L.	¹ QM I				² QM II			
		PC	TG	IV	TM	PC	TG	IV	TM
H	5	8,97**	92,70 ^{ns}	21,77**	119,75**	8,50**	0,17**	11,23**	55,28**
F	1	0,02 ^{ns}	0,26**	6,99**	0,84 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,48**	19,93**	78,87**
H x F	5	1,78**	0,31**	12,49**	0,93 ^{ns}	2,44**	0,13**	6,46**	11,27 ^{ns}
Erro	36	0,26	0,01	0,41	7,87	0,66	0,001	0,30	6,89
Experimento de Recuperação I					Experimento de Recuperação II				
H	5	18,79**	0,26**	37,19**	44,53**	5,38**	0,03**	5,01**	66,79**
F	1	27,72**	1,44**	126,62**	8,14 ^{ns}	69,07**	0,75**	89,03**	37,58**
H x F	5	1,31 ^{ns}	0,32**	15,83 ^{ns}	1,99 ^{ns}	5,38**	0,04**	5,59**	4,95 ^{ns}
Erro	36	1,71	0,06	6,56	6,67	0,28	0,01	0,90	5,09

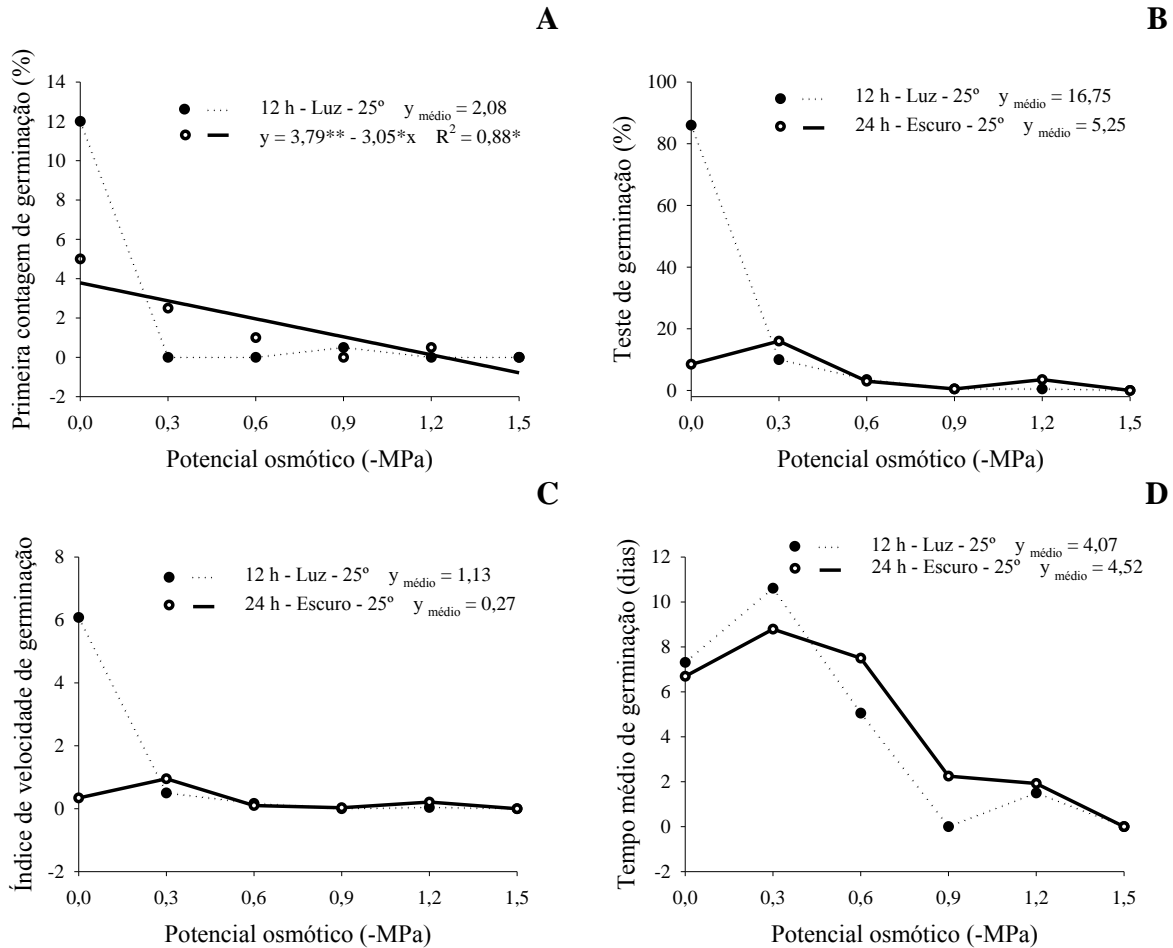
** Significativo pelo teste F de Snedecor a 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. ¹ Quadrados médios estimados no experimento I; ² Quadrados médios estimados no experimento II.

Fonte: Elaboração do autor.

Houve ajuste da função de resposta na primeira contagem de germinação na ausência total de luz, observando-se decréscimo linear chegando a 0% de TG a partir da concentração de -1,2 MPa. No fotoperíodo de 12 horas de luz, não houve ajuste de modelo de regressão, assim como para as variáveis TG, IV e TM. Todavia, o aumento do déficit hídrico induzido através do incremento nas concentrações de PEG 6000 na solução do substrato foi responsável por uma tendência de redução nos valores médios da TG e IV no fotoperíodo de 12 horas luz (Figura 2).

Rizzardi et al. (2009), estudando a germinação de sementes *Ipomoea triloba* L. espécie de planta daninha extremamente agressiva, observaram redução dos processos metabólicos durante a germinação e relataram que isso se deve não somente a sensibilidade das sementes e à variação do potencial hídrico, como também à natureza da substância indutora, que, muitas vezes, apresenta efeitos mais tóxicos que osmóticos sobre a germinação.

Figura 2. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Observou-se diferença significativa entre fotoperíodos no tratamento controle (sem estresse) em PC, TG, IV e na recuperação da TG. Neste caso, o fotoperíodo 1 (F1), ou seja, luz durante 12 horas por dia, sobressaiu-se em todas as avaliações, com exceção na recuperação do TG, onde o fotoperíodo 2 (F2), com as sementes no escuro, apresentaram 43% de germinação (Tabela 2).

Tabela 2. Primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (TG), índice de velocidade de germinação (IV) e recuperação do teste de germinação (RECTG) submetidos a estresses hídricos (E) e fotoperíodos (F1 = 12 horas de luz e F2 = escuro constante) no experimento I com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos.

H (MPa)	PC		TG		IV		RECTG	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
0,0	12 a	5 b	86 a	8,5 b	6,08 a	0,34b	4 b	43 a
-0,3	0 b	2,5 a	10 a	16 a	0,5 a	0,95a	58 a	28 b
-0,6	0 a	1 a	3 a	3,5 a	0,17 a	0,10a	66 a	19,5 b
-0,9	0 a	0 a	0,5 a	0,5 a	0 a	0,03a	82 a	37,5 b
-1,2	0 a	0 a	0,5 a	3,5 a	0,4 a	0,20a	80,5 a	22,5 b
-1,5	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	76 a	51 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

Esse resultado pode estar relacionado ao estado de dormência fisiológica dessas sementes, uma vez que espécies silvestres geralmente apresentam mecanismos de dormência e a luz está ligada á ativação do sistema de fitocromos, por sua vez, relacionado com o funcionamento das membranas celulares. Esta situação pode ocasionar uma alteração no fluxo de inúmeras substâncias nas células e de permeabilidade das membranas, contribuindo não apenas para quebrar a dormência e promover a germinação de outras espécies, como também provoca inibição em algumas delas (HILHORST; KARSSSEN, 1988).

Na ausência de interação (E x F), foi analisado o efeito simples de fotoperíodos sobre TM, onde não foi verificada diferença significativa (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação de médias de primeira contagem de germinação (PC), índice de velocidade de germinação (IV) e tempo médio de germinação em dias (TM) nos experimentos I e II e de recuperação com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos (F1 = 12 horas de luz e F2 = escuro constante).

PC I		^r PC I		^r IV I	
F1	F2	F1	F2	F1	F2
2,08a	1,50a	24,92 ^a	12,58b	4,61a	2,25b
^r TM I		TM II		^r TM II	
2,76a	3,66a	3,84a	1,28b	3,35a	1,58b

^r experimento de recuperação. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

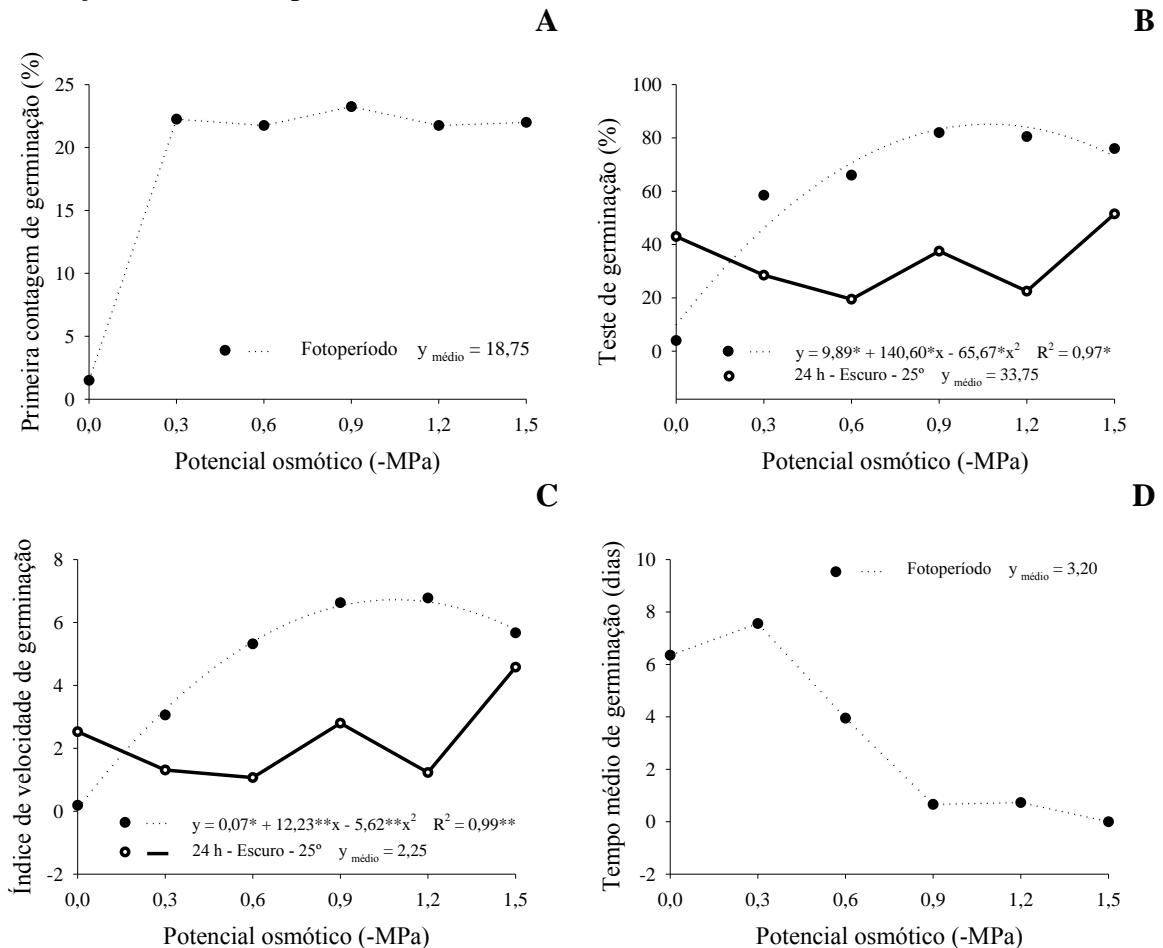
Fonte: Elaboração do autor.

No experimento II de recuperação, observou-se em PC, IV e TM diferenças significativas entre médias, sobressaindo-se o fotoperíodo 1, com 24,92%, 4,61 e 3,35 dias, respectivamente (Tabela 3). Não houve diferença significativa na recuperação do TM e na PC

no experimento I, ao passo que o tempo médio de germinação no experimento II, com fotoperíodo 1, sobressaiu-se com tempo de 3,84 dias.

Ao final de cada teste de germinação, as sementes que não haviam germinado, em todos os tratamentos, foram lavadas e colocadas para germinar em papel filtro umedecido com água destilada. Com efeito, verificou-se resposta crescente no teste de germinação até o valor máximo de 82% no potencial osmótico de -0,9 MPa (Figura 3).

Figura 3. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação em dias (D) de recuperação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Esses resultados sugerem que os baixos valores de germinação encontrados anteriormente foram observados em função dos danos causados às sementes, após a aplicação dos severos níveis de estresse hídrico, mostrando grande sensibilidade das sementes aos níveis testados. Resultado semelhante foi encontrado por Silva Bello et al. (2008), único trabalho executado com esta metodologia experimental, porém com avaliando o desempenho

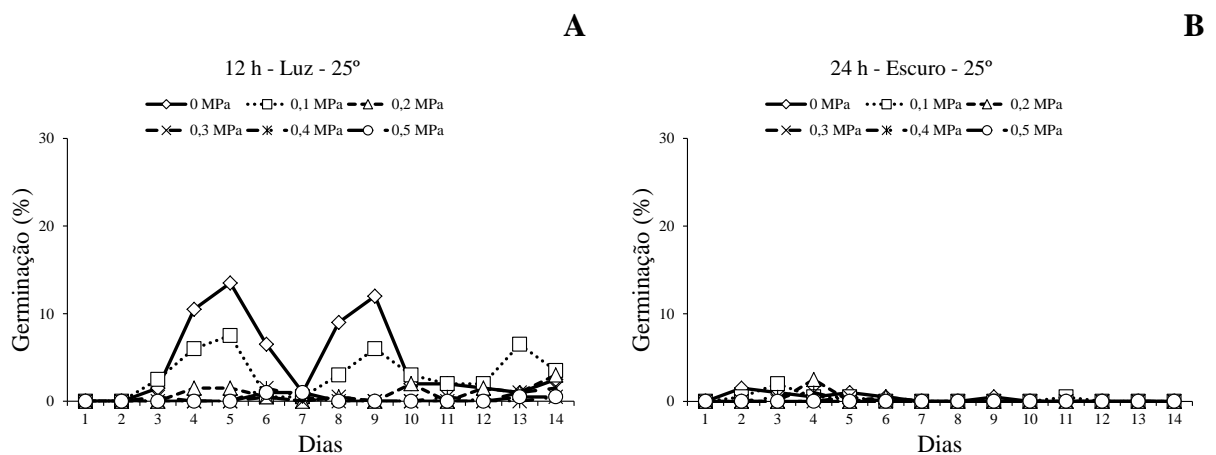
germinativo de sementes de *Amburana acreana* em diferentes condições de temperatura e de estresse hídrico.

Os resultados observados no presente experimento criaram a demanda da adoção de níveis mais baixos de estresse, visando observar uma melhor configuração da curva e de compreensão sobre até que ponto as sementes são influenciadas pelos níveis de estresse. Essas respostas foram obtidas no experimento 2.

3.2 EXPERIMENTO 2

Mesmo utilizando menores níveis de estresse, observou-se baixos índices de germinação das sementes ao longo dos 14 dias no fotoperíodo de 12 horas luz, chegando ao máximo de 13,5 e 7,5% do terceiro ao sexto DAS, nos tratamentos de 0 e -0,1 MPa respectivamente (Figura 4A).

Figura 4. Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Teixeira et al. (2011) observaram que potenciais osmóticos iguais ou inferiores a -0,2 MPa revelaram-se prejudiciais à germinação de sementes de *Crambe abyssinica* L. não havendo desenvolvimento de plântulas normais em potenciais inferiores a -0,6 MPa. Campos; Assunção (1990) relataram que o aumento da concentração das soluções osmóticas é responsável pela inibição da síntese e/ou atividade das enzimas hidrolíticas necessárias à germinação das sementes.

No experimento 2, observou-se similaridade ao que foi verificado no experimento 1, ou seja, na PC, TG e IV a análise de variância demonstrou efeitos significativos ($p < 0,01$) em

relação ao efeito combinado entre os estresses hídricos e os fotoperíodos nas sementes de *A. deflexus* não havendo efeito significativo da interação entre estresse hídrico e fotoperíodo no tempo médio de germinação (Tabela 1).

Em PC, foi verificada uma diferença significativa apenas para os potenciais -0,1 e -0,2 MPa de estresse hídrico. Na PC e no IV sem estresse hídrico, destacou-se o fotoperíodo 12 h de luz por dia, com 12% e 4,88 respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (TG), índice de velocidade de germinação (IV) e suas respectivas recuperações, submetidos a estresse hídrico e fotoperíodo (F1 = 12 horas de luz e F2 = escuro constante) no experimento II com sementes de *Amaranthus deflexus* L. testadas em câmara de germinação em dois fotoperíodos.

H (MPa)	PC II		TG II		IV II	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
0	12a*	3a	5a	3,5b	4,88a	0,23b
-0,1	8,5a	3b	43a	4b	2,80a	0,13b
-0,2	1,5a	2,5b	11a	3b	0,72a	0,35b
-0,3	0a	0,5a	4a	0,5b	4,41a	0b
-0,4	0a	1,5a	3a	1,5b	3,38a	0b
-0,5	0a	0a	3a	0b	3,54a	0,0b
Experimento de Recuperação II						
0	1a	0a	8a	1,5a	0,61a	0,10a
-0,1	0a	0a	12a	1,5a	0,82a	0,09a
-0,2	11,5a	0b	25,5a	0b	1,74a	0b
-0,3	17a	0b	38a	0b	3,04a	0b
-0,4	11a	0b	30a	0b	3,38a	0b
-0,5	10a	0b	36,5a	0b	3,54a	0b

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

Na recuperação do experimento II, não houve diferença significativa entre as médias de PC, TG e IV entre fotoperíodos nos tratamentos de 0 e -0,1 MPa. Sobressaiu-se o Fotoperíodo 1 (F1), ou seja, 12 horas de luz diária, nas PC e TG com 17% e 38% no potencial de -0,3 MPa; e o IV no F1 (3,54) no potencial de -0,5 MPa, respectivamente.

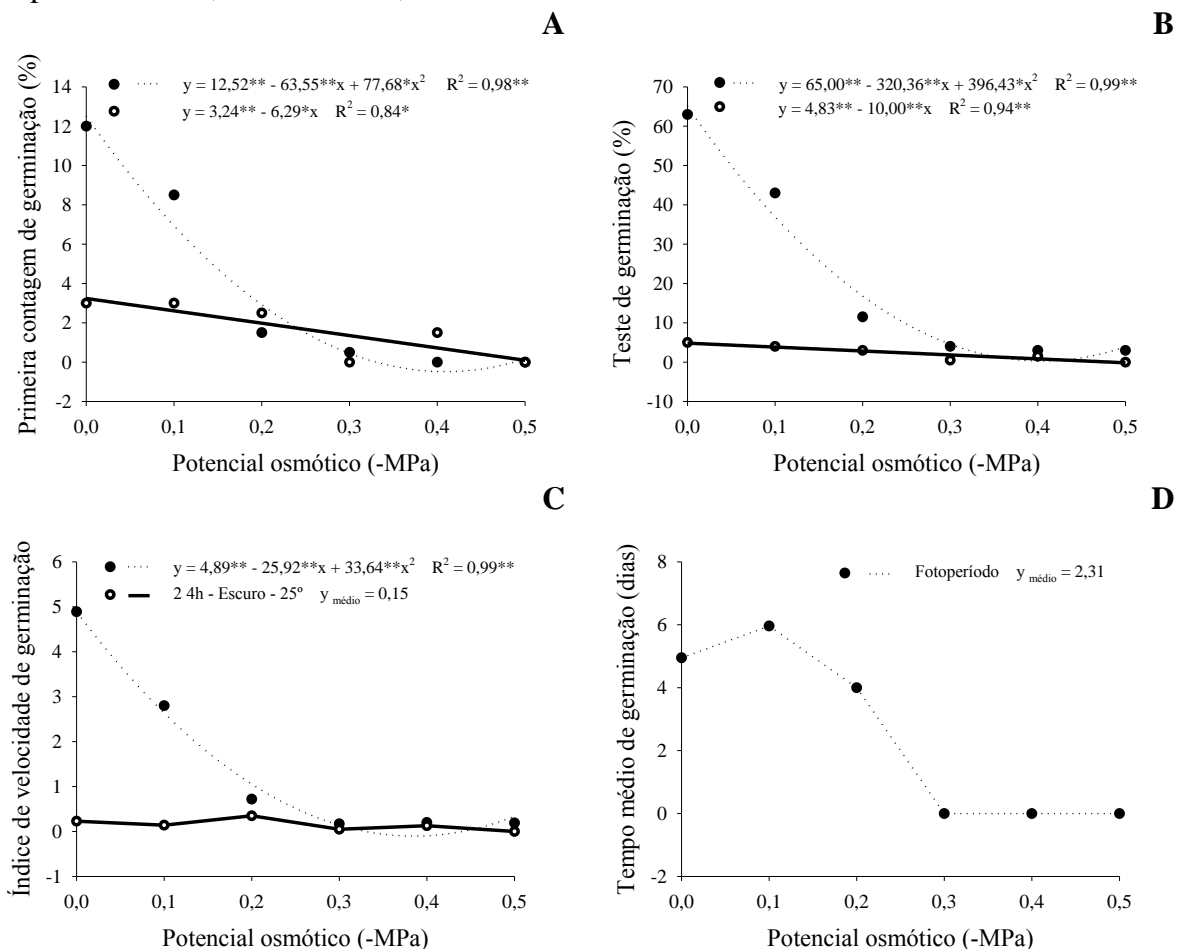
Mesmo reduzindo os níveis de estresse hídrico, PC, TG e IV (Figura 5), em ambos os tratamentos (12h e escuro total), foram afetadas. Ajustando a função-resposta para o fotoperíodo de 12 horas, observou-se comportamento decrescente até os valores de, respectivamente, 0,5%; 4% e 0,17 no potencial osmótico de -0,3 MPa, percebendo-se logo após uma estabilização do comportamento até o último nível testado. A germinação é um dos

estádios mais críticos durante o ciclo de vida da planta e esta condição de déficit hídrico provoca redução na qualidade fisiológica.

Isto ocorre, não somente nas sementes de *A. deflexus* mas também em outras importantes plantas daninhas, tais como: *Plantago ovata* L. (SOUSA et al., 2008), *EMILIA SONCHIFOLIA* L (YAMASHITA et al., 2009), *Conyza canadensis* L. e *Conyza bonariensis* L. (YAMASHITA; GUIMARÃES, 2010), *Melaleuca quinquenervia* L. (MARTINS et al., 2011), *Chloris barbata* (L.) Sw. (SILVA et al., 2011), *Urochloa decumbens* L. (PEREIRA et al. 2012), *Urochloa ruziziensi* L. (MACETTO et al., 2013), *Raphanus raphanistrum* L. e *Senna obtusifolia* L. (PEREIRA et al., 2014) e *Urochloa brizantha* L. (CHRISTOVAM et al., 2015).

No escuro total, observou-se ajuste linear decrescente de PC e TG. Não houve ajuste de função-resposta na ausência total de luz das variáveis IV e TM, respectivamente.

Figura 5. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Comparando os resultados de vigor na primeira contagem (Figura 5A) com os de germinação na contagem final do teste (Figura 5B), observou-se através das curvas de tendência e com base no coeficiente de determinação (R^2) que o vigor das sementes de *A. deflexus* foi mais afetado que a sua germinação e esses resultados se mantiveram à medida que se aumentaram as concentrações das soluções de PEG 6000, até atingir 0% de germinação em -0,5 MPa. Isso mostra a necessidade de que exista um nível de hidratação adequado durante a fase de embebição das sementes, de modo que este venha a permitir a reativação dos processos metabólicos, culminando no crescimento do eixo embrionário (MARCOS FILHO, 2005).

O aumento do déficit hídrico através do incremento nas concentrações de PEG 6000 na solução do substrato foi responsável por decréscimos significativos nos valores médios do índice de velocidade de germinação (Figura 5C). Carvalho; Christoffoleti (2007) trabalhando com cinco espécies de *Amaranthus*, concluíram que a *A. deflexus* foi a espécie que apresentou menores índices de velocidade de germinação em quatro condições de germinação: fotoperíodo (8 horas de luz/16 horas de escuro) com alternância de temperatura (8 horas a 30 °C/16 horas a 20 °C), fotoperíodo com temperatura constante (25 °C), escuro com alternância de temperatura e escuro com temperatura constante.

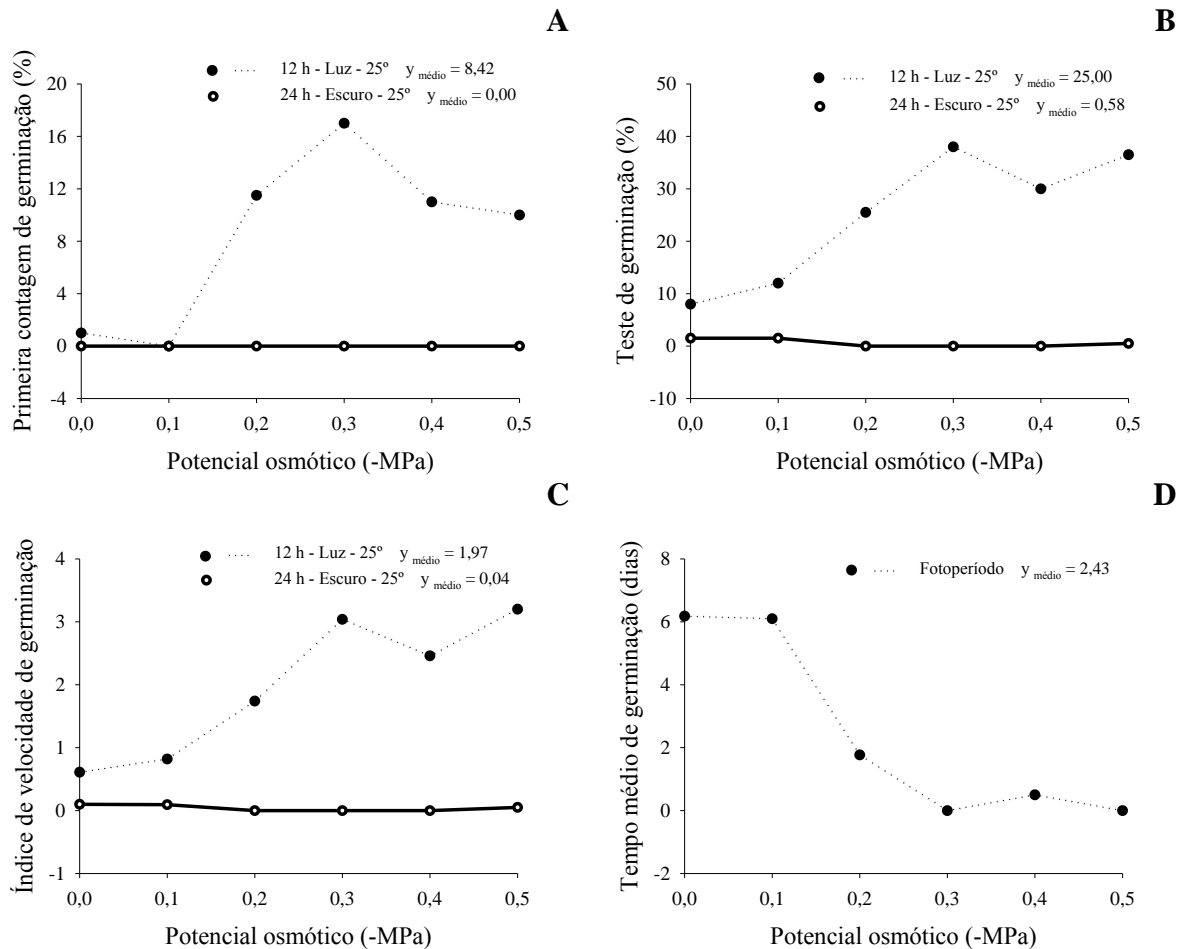
Portanto, a redução do potencial osmótico da solução do substrato também influenciou a germinação, tornando-a mais lenta, em especial no fotoperíodo 12h de luz. Resultados semelhantes foram encontrados por Rizzardi et al. (2009) que, trabalhando com PEG 8000 na solução do substrato em *Ipomoea triloba* L. observaram que a germinação reduziu-se à medida que decresceram os níveis de potencial hídrico das soluções, principalmente a partir de -0,1 MPa.

O comportamento germinativo das sementes de *A. deflexus* observado na presente pesquisa, pode estar relacionado com a redução dos processos metabólicos das sementes, em função da menor disponibilidade de água para a digestão das reservas e translocação dos produtos, sendo estes processos caracterizados por Bewley e Black (1994) por um padrão trifásico da germinação. De acordo com esses autores, o estresse hídrico pode reduzir tanto a porcentagem quanto a velocidade de germinação, com uma grande variação de respostas entre as espécies, desde aquelas muito sensíveis, até às mais resistentes. Dessa forma, sementes resistentes possuem a vantagem ecológica de estabelecer plântulas em áreas onde sementes sensíveis à seca não podem fazê-lo.

Assim como no experimento 1, ao final de cada teste de germinação do experimento 2, as sementes que não haviam germinado, em todos os tratamentos, foram lavadas e

colocadas para germinar, em papel filtro umedecido com água destilada. Verificou-se que as mesmas também voltaram a germinar, corroborando os resultados do experimento 1 (Figura 6).

Figura 6. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de recuperação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. após diferentes níveis de estresse hídrico em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

De acordo com Bewley e Black (1994), a diminuição da germinação pode ser atribuída à menor mobilização das reservas, menor síntese e atividade enzimática ou mudanças na turgescência celular. Além disso, quando as sementes são submetidas a condições de estresse, essas direcionam seu metabolismo a contornar essas condições. Com isso, o gasto energético é maior com relação à adaptação a esse estresse do que a germinação propriamente dita (VAZ-DE-MELO et al., 2012).

Não houve ajuste de função-resposta em nenhuma das variáveis na recuperação das sementes (Figura 6), obtendo-se os valores médios de PC, TG e IV na ausência de luz de 0,00;

0,58% e 0,04 e, no fotoperíodo de 12 horas, de 8,42%; 25% e 1,97, respectivamente. O TM no fotoperíodo foi de 2,43 dias.

4 CONCLUSÕES

1. O estresse hídrico afeta negativamente o desempenho das sementes de *A. deflexus* reduzindo a germinação e vigor a partir de -0,1 MPa;
2. A germinação das sementes, da subamostra geneticamente variável, de *A. deflexus* foi comprometida pelo escuro total, independentemente dos níveis de estresse hídrico aplicado;
3. Houve aumento de germinação de sementes de *A. deflexus* após aplicação da recuperação das mesmas nos maiores níveis de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BRASIL, Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 399p.

CAMPOS, I. S.; ASSUNÇÃO, M. V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor do arroz. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 25, n. 6, p. 857-862, 1990.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, Campinas, vol. 66, n. 4, p. 527-533, 2007.

FILETI, M. S.; PINOTTI, E. B.; EPIPHANIO, P. D.; BARROS, B. M. C.; SILVA, T. F.; GIROTTO, M.; SILVA, D. P.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Utilização de palhada no controle de planta daninha. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, ano X, n. 20, 2011.

HILHORST, H. W. M.; KARSSSEN, C. M. Dual effects of light on the gibberelin and nitrate-stimulated seed germination of *Sisymbrium officinale* and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 86, n. 3, p. 591-597, 1988.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174p.

LETCHAMO, W.; GOSSELIN, W. A. Light, temperature and duration of storage govern the germination and emergence of *Taraxacum officinale* seed. **Journal of Horticultural Science**, Headley, v.71, n. 3. p. 373-377, 1996.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n.1, p.176-177. 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARTINS, C. C.; PEREIRA, M. R. R.; MARCHI, S. R. Germinação de sementes de *Melaleuca quinquenervia* em condições de estresse hídrico e salino. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n.1, p. 1-6, 2011.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 48-56, 2009.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 537-545, 2012.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; MARTINS, D.; SILVA, R. J. N. D. Estresse hídrico induzido por soluções de PEG e de NaCl na germinação de sementes de nabiça e fedegoso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 687-696, 2014.

RIZZARDI, M. A.; LUIZ, A. R.; ROMAN, E. S.; VARGAS, L. Temperatura cardeal e potencial hídrico na germinação de Sementes de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 13-21, 2009.

SILVA BELLO, E. P. B. C.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; GUIMARÃES, S. C.; MENDONÇA, E. A. F. Germinação de sementes de *Amburana acreana* (Ducke) A. C. Sm. submetidas a diferentes condições de temperatura e de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 16-24, 2008.

TEIXEIRA, R. N.; TOLEDO, M. Z.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; JASPER, S. P. Germinação e vigor de sementes de crambe sob estresse hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 42-51, janeiro-março, 2011.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, A. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 687-695, 2012.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. **The Plant Journal**, Michigan, v. 45, n. 4, p. 523-539, 2006.

VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R.; LAMEGO, F. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glifosate. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 309-315, 2007.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n. 11/12, p.1311-1317, 1991.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Germinação das sementes de *Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis* em função da disponibilidade hídrica no substrato. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 309-317, 2010.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C.; SILVA, J. L.; CARVALHO, M. A. C.; CAMARGO, M. F. Fatores ambientais sobre a germinação de *Emilia sonchifolia*. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.4, p. 673-681, 2009.

CAPÍTULO II

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Amaranthus Deflexus* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ESTRESSE SALINO

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito das condições salinas e térmicas sobre a germinação e vigor de sementes de *Amaranthus deflexus* L. planta daninha popularmente conhecida como caruru rasteiro. Para isso, foram instalados dois experimentos. No experimento 1, as sementes foram postas em placas de petri contendo duas folhas de papel filtro, umedecidas separadamente com água destilada (controle) e com soluções de cloreto de sódio (NaCl) para simular o estresse salino nos potenciais osmóticos de -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa. Ao final do experimento, as sementes que não germinaram em cada tratamento foram lavadas e colocadas em substrato papel filtro, umedecido com água, para observação da continuidade do processo germinativo. No experimento 2, cinquenta sementes foram colocadas em placas de petri, acondicionadas em germinador tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D) e mantidas no regime de temperaturas constantes de 20; 25; 30; 35 e 40 °C, e alternadas de 20-30; 25-35 e 30-40 °C. As avaliações foram efetuadas diariamente por 14 dias após a instalação do experimento, quando este foi encerrado. A germinação e o vigor das sementes foram avaliados através do teste de germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação. Nos ensaios do experimento 1, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator dois fotoperíodos (12horas de luz e 24horas de escuro) e o segundo seis níveis de estresse salino (0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa), totalizando doze tratamentos, com quatro repetições. No experimento 2, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições. O estresse salino afetou negativamente o vigor das sementes de *A. deflexus* desde o nível de estresse de -0,3 MPa. O vigor das sementes de *A. deflexus* foi comprometido pela ausência de luz, independentemente dos níveis de estresse salino aplicados. Houve superioridade na percentagem final de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes de *A. deflexus* na temperatura de 25 °C constante e no regime alternado de 25-35 °C.

Palavras-chave: Caruru rasteiro. Planta daninha. Potencial osmótico. Salinidade. Vigor.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effect of different saline and thermal conditions on the germination and vigor of *Amaranthus deflexus* L. seeds, a weed commonly known in Brazil as caruru rasteiro. Two experiments were conducted. In experiment 1, seeds were placed in Petri dishes containing two sheets of germitest paper towel moistened separately with distilled water (control) and sodium chloride (NaCl) in order to simulate salt stress at the osmotic potential of -0.3; -0.6; -0.9; -1.2 and -1.5 MPa. At the end of this experiment, the seeds that did not germinate in each treatment were washed and placed on paper towel substrate moistened with water in order to observe the continuity of the germination process. In experiment 2, fifty seeds were placed in Petri dishes, conditioned in a Biochemical Oxygen Demand (B.O.D) incubator and maintained at constant temperatures of 20; 25; 30; 35 and 45 °C and at alternating temperatures of 20-30; 25-35, and 30-40 °C. The evaluations were conducted daily for 14 days until the experiment was finished. Germination and vigor of seeds were evaluated via germination test, first count, germination speed index, and average germination time. In experiment 1, it was used a completely randomized 2 x 6 factorial design; the first factorial was photoperiod (12 h light and 24 h dark) and the second was six levels of salt stress (0; -0.3; -0.6; -0.9; -1.2 and -1.5 MPa), in a total of twelve treatments with four replications. In experiment 2, it was used a completely randomized design with eight treatments and four replications. Salt stress affected negatively the vigor of *A. deflexus* seeds from the stress level of -3.0 MPa on. The vigor of *A. deflexus* seeds was reduced by the absence of light regardless of the level of salt stress applied. There was superiority in the final percentage of germination and in the germination speed index of *A. deflexus* seeds at the constant temperature of 25 °C and at the alternating temperature of 25-35 °C.

Keywords: Caruru rasteiro. Weed. Osmotic potential. Salinity. Vigor.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Amaranthus deflexus* L. popularmente conhecida como caruru rasteiro, é uma importante planta daninha encontrada em praticamente todo o território brasileiro, causando grandes reduções de produtividade em agriculturas, quando não controladas, e elevando os custos de produção, quando em densidades populacionais elevadas.

As plantas daninhas se caracterizam por competir com culturas pelos fatores limitantes do meio, em diferentes condições edafoclimáticas. Estudos relacionados com a resposta germinativa de sementes submetidas à condição de estresses artificiais são ferramentas para um melhor entendimento da capacidade de sobrevivência e adaptação dessas espécies em condições de estresses naturais (PEREIRA et al., 2012).

Por sua vez, um dos principais fatores ambientais que limita o crescimento e desenvolvimento das plantas é a salinidade. Os efeitos da acumulação excessiva dos sais solúveis sobre os vegetais podem resultar em seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico, desbalanceamento nutricional devido a elevada concentração iônica, especialmente o sódio, inibindo a absorção de outros nutrientes (OLIVEIRA et al., 2012), em aumento de toxicidade de íons específicos e interferência em distintos processos fisiológicos. Os reflexos são variáveis e diretamente relacionados com a espécie, tipos de sais presentes na água, intensidade e duração do estresse salino ao qual a semente está submetida (PEREIRA et al., 2012).

Outros fatores ambientais de fundamental importância para o desenvolvimento na emergência das plântulas em condições de campo são amplitudes térmicas e a luz (HOLMES; SMITH, 1975). Letchamo e Gosselin (1996) constataram que a luz não apenas consegue quebrar a dormência e promover a germinação de outras espécies, como também provoca inibição em algumas delas. Otegui et al. (2005) avaliaram a influência da luz e da temperatura na taxa, e velocidade de germinação de *Paspalum guenoarum* Arechav. sendo constatado que a temperatura alternada de 20/35 °C (dia/noite) foi a mais apropriada para expressar o potencial germinativo dessa espécie, independentemente da luz.

Devido a variação frequente observada nos fatores salinidade, amplitude térmica e luz haver variabilidade de respostas germinativas das sementes, é complexa a previsão de infestações dessa espécie em diferentes ambientes agrícolas. Por sua vez, a avaliação da sensibilidade em condições de estresse salino, bem como a efeitos causados pela amplitude térmica, para um melhor entendimento da agressividade e estratégias de dominância das mesmas, justifica a importância do estudo da germinação de sementes nestas condições.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento germinativo de sementes de *A. deflexus* sob diferentes condições de estresse salino e temperaturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza-CE. Foram utilizadas sementes de caruru *A. deflexus* coletadas na fazenda experimental Rafael Fernandes da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN.

Para execução dos experimentos, foi coletada uma subamostra de panículas contendo sementes maduras de 30 plantas de *A. Deflexus* provavelmente geneticamente variáveis para algumas características, devido ao seu mecanismo natural de alogamia ou reprodução por polinização cruzada. As panículas foram colocadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 27-28 °C, até a deiscência dos frutos. O beneficiamento das sementes foi realizado pela fricção dos frutos num recipiente, seguida de agitação para a separação das sementes das estruturas dos frutos secos.

No primeiro experimento (E1), para o teste de germinação, realizou-se a semeadura em placas de petri contendo duas folhas de papel filtro, umedecidas com água destilada (controle) ou com soluções de cloreto de sódio (NaCl), de modo a fornecer os potenciais hídricos de -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa, na proporção equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. As concentrações de NaCl, para cada potencial, foram obtidas conforme Villela et al. (1991). As sementes foram mantidas em placas de petri, com tampa, as quais foram vedadas com Parafilm® (BRAND, Alemanha), a fim de reduzir a perda de umidade, e acondicionadas em germinador tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D), à 25°C com fotoperíodo de 12 horas de luz diária e em escuro constante por quatorze dias.

Ao final do E1, as sementes não germinadas em cada tratamento foram lavadas e colocadas para germinar em placas de petri com papel filtro, umedecidas com água destilada para estimulação da continuidade do processo germinativo. As sementes foram avaliadas quanto à germinação e ao vigor, sendo estes, representados, pela primeira contagem de germinação, analisando-se as seguintes variáveis:

Primeira contagem de germinação (PC) - conduzida juntamente com o teste de germinação, computando-se a porcentagem de plântulas normais no quarto dia após a instalação do ensaio, conforme recomendado por Brasil (2009).

Teste de germinação (TG) - realizado no décimo dia após a semeadura, por ocasião do final do experimento, considerando-se germinadas as sementes que emitiram raiz primária. Os resultados foram expressos em porcentagem média, com base no número de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação (IV) - calculado pela razão entre o somatório do número de sementes germinadas a cada dia, pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação (MAGUIRE, 1962): $IV = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}$, em que IV é índice de velocidade de germinação; G_1, G_2, \dots, G_n correspondem aos números de plântulas computadas na primeira, segunda, terceira e última contagem; N_1, N_2, \dots, N_n correspondem aos números de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira e última contagem.

Tempo médio de germinação (TM) - obtido através de contagens diárias das sementes germinadas até o décimo dia após a semeadura e calculado através da fórmula a seguir, proposta por Labouriau (1983), sendo os resultados expressos em dias.

$$TM = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum(n_i)}, \text{ em que:}$$

TM = tempo médio de germinação (dias);

n_i = número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem;

t_i = tempo decorrido entre o início da germinação e a i -ésima contagem.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes em esquema fatorial 2 x 6. O primeiro fator foi constituído por dois fotoperíodos (12 horas luz e ausência de luz) e o segundo constituído por cinco níveis de estresse salino (0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa).

No segundo experimento (E2), as sementes foram mantidas em regime de temperaturas constantes de 20; 25; 30; 35 e 40 °C, e alternadas de 20-30; 25-35 e 30-40 °C. As avaliações foram efetuadas diariamente após a instalação do teste, por um período de 14 dias, quando o experimento foi encerrado. As contagens foram realizadas considerando-se como sementes germinadas aquelas que emitiram comprimento de radícula superior a 2,0 mm (STECKEL et al., 2004).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, constituído por 8 tratamentos (temperaturas constantes de 20; 25; 30; 35 e 40 °C, e alternadas de 20-30; 25-35 e 30-40 °C) e igual número de repetições do E1.

Para E1 e E2, foi processada a análise de variância (anava) utilizando o teste F de Snedecor ($p < 0,05$) para comparação de variâncias de tratamentos. Os procedimentos pós-anava aplicados foram o teste de comparações múltiplas de médias de Tukey ($p < 0,05$) para o primeiro e o ajustamento de curvas de funções autorregressivas para o segundo fator.

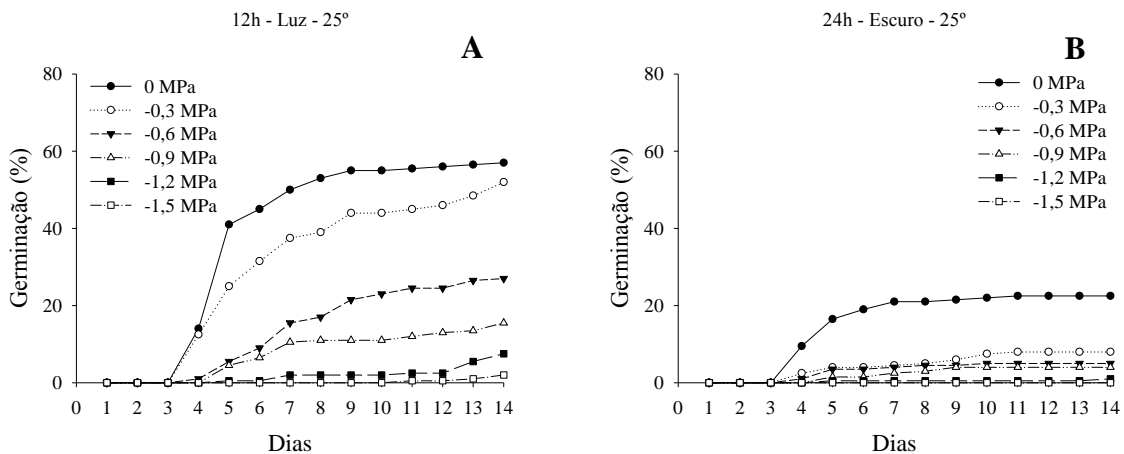
Utilizando as médias estimadas das variáveis, foi realizada análise de agrupamento com o método hierárquico de Ward (1963). O processamento de dados foi feito com o software R versão 3.2.0 (R CORE TEAM, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTO 1

Houve baixos índices de germinação das sementes de *A. deflexus* ao longo dos 14 dias no fotoperíodo de 12 horas luz, verificando 57 e 52% de germinação nos potenciais osmóticos de 0 e -0,3 MPa, respectivamente (Figura 1A). Já na ausência de luz, os índices de germinação foram ainda mais baixos, verificando maior porcentagem de germinação de 22,5% no potencial 0 MPa. Os demais potenciais osmóticos associados à ausência de luz afetaram de maneira negativa a germinação (Figura 1B).

Figura 1 Evolução da germinação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes níveis de estresse salino em câmara de germinação em dois fotoperíodos. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2012), trabalhando com estresse salino em *Urochloa decumbens* (Stapf) e *Urochloa ruziziensis* L. verificaram diminuição na germinação das sementes de *U. ruziziensis* com redução de 22,1% no potencial de -0,2 MPa em relação à testemunha. Essa diferença tornou-se ainda maior com redução de 61% no potencial osmótico (-0,4 MPa).

Na primeira contagem de germinação, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação, a análise de variância demonstrou efeitos significativos ($p < 0,01$) para o efeito combinado entre os estresses salinos e os fotoperíodos nas sementes de *A. deflexus* (Tabela 1).

Tabela 1. Valores sumarizados da análise de variância para primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (TG), índice de velocidade de germinação (IV) e tempo médio de germinação (TM) para sementes de *Amaranthus deflexus* L. em função de condições salinas (I) e térmicas (II).

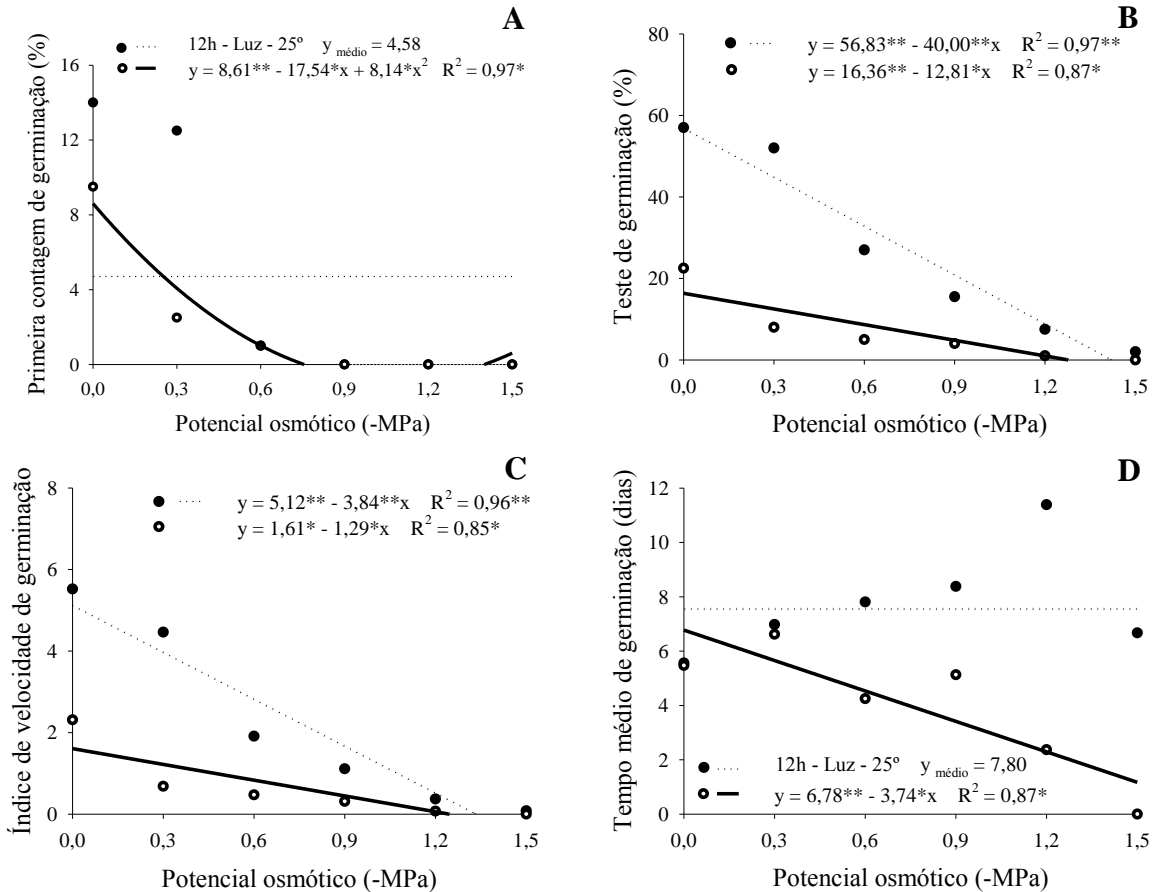
FV	G.L.	¹ QM Experimento I				QM Recuperação Experimento I			
		PC	TG	IV	TM	PC	TG	IV	TM
E	5	203,15**	1853,48**	18,35**	73,99 ^{ns}	414,73**	2011,08**	7,39**	41,31**
F	1	70,08*	4840,08**	30,78**	175,43**	1281,33**	9690,08**	41,02**	1,79 ^{ns}
E x F	5	34,08*	547,48**	4,80**	24,55*	335,73**	1043,08**	3,34**	5,29 ^{ns}
Erro	36	11,36	58,25	0,49	9,17	31,94	71,53	0,57	6,02
FV	G.L.	² QM Experimento II							
		PC	TG	IV	TM				
Temp	7	70,55**	2857,26**	12,98**	5,95 ^{ns}				
Resíduo	24	5,04	123,12	0,67	6,24				
Total	31	-	-	-	-				
CV (%)	-	32,58	70,44	37,81	30,57				

** Significativo pelo teste F de Snedecor a 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. ¹ Quadrados médios estimados no experimento I; ² Quadrados médios estimados no experimento II.

Fonte: Elaboração do autor.

Houve ajuste de função resposta na primeira contagem, teste de germinação, índice de velocidade e tempo médio de germinação na ausência de luz, chegando a 0% na PC, a partir do nível de -0,9 MPa (Figura 2A). Nos TG, IV e TM, verificou-se decréscimo linear, evidenciando o prejuízo no desempenho das sementes submetidas ao estresse salino, a partir do nível de -1,2 MPa (Figuras 2B, C e D).

Figura 2. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. na ausência (○ —) e presença (●) de 12h diárias de luz, sob diferentes condições salinas induzido pelo NaCl. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

No fotoperíodo de 12 horas luz, houve ajuste de função resposta para as variáveis teste e índice de velocidade de germinação, observando-se decréscimo linear até 2% e 0,08, respectivamente, no potencial de -1,5 MPa (Figuras 2B e C). Tais resultados corroboram com aqueles observados por Chauhan e Johnson (2009), que relataram efeitos adversos na germinação de sementes de *Mimosa pudica* L. com o aumento da quantidade de NaCl na solução do substrato. Esse resultado já era esperado, já que o aumento da concentração de sais no substrato determina redução no potencial hídrico, resultando em menor capacidade de absorção de água pelas sementes, o que geralmente influencia a capacidade germinativa e o desenvolvimento das plântulas (OLIVEIRA et al., 2012).

Nas variáveis primeira contagem de germinação e tempo médio de germinação, não houve ajuste coerente da distribuição amostral a nenhuma distribuição teórica. Todavia, o aumento do déficit hídrico induzido através do incremento nas concentrações de NaCl na

solução foi responsável pela tendência de redução nos valores médios da PC no fotoperíodo de 12 horas luz (Figura 2A).

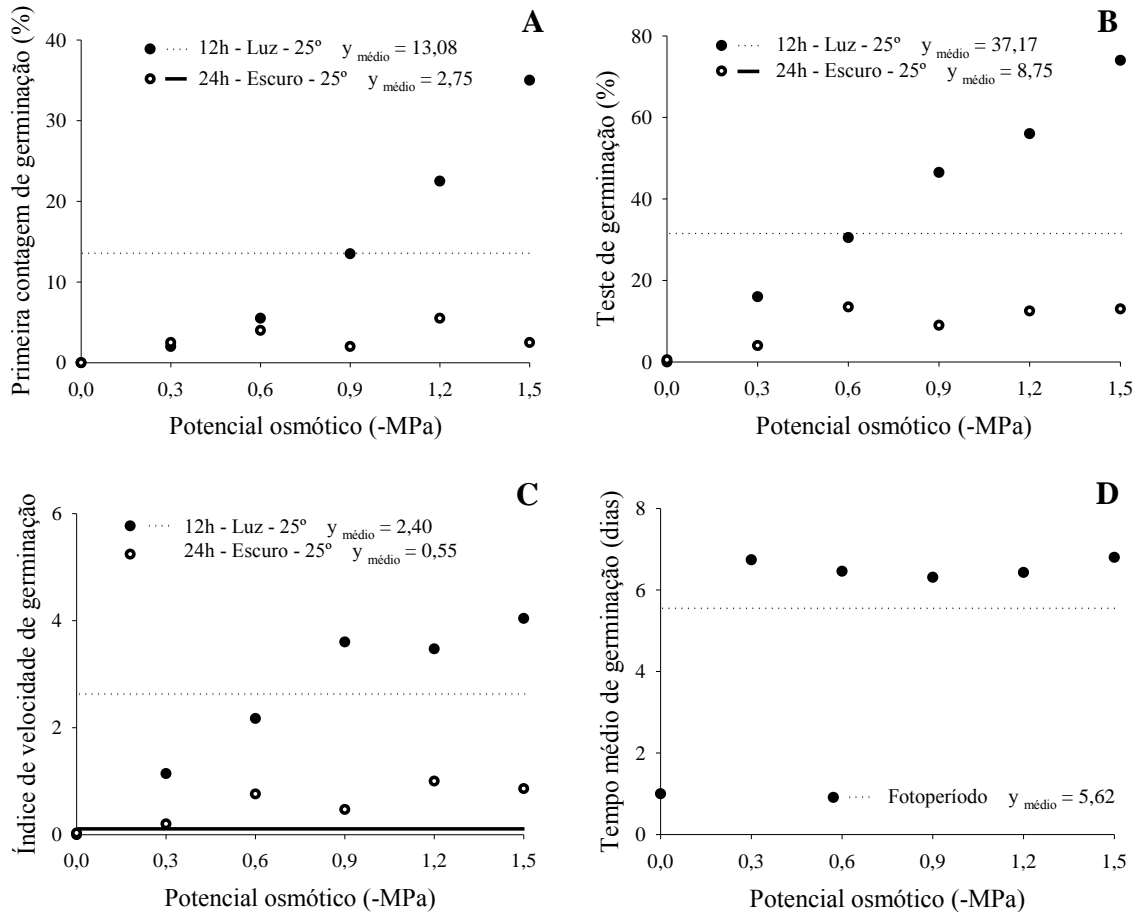
A inibição na emergência da raiz primária, decorrente de uma disponibilidade menor de água, relaciona-se, frequentemente, com reduções na atividade de algumas enzimas, causando prejuízo no metabolismo geral das sementes (BEWLEY; BLACK, 1994). Além disso, quando as sementes são submetidas a condições de estresse, essas direcionam seu metabolismo a contornar essas condições. Com isso, o gasto energético é maior com relação a adaptação a esse estresse, do que a germinação propriamente dita (OLIVEIRA et al., 2012).

Ao final de cada teste de germinação, as sementes que não haviam germinado, em todos os tratamentos, foram lavadas e colocadas para germinar em papel filtro umedecido com água destilada.

Nas variáveis primeira contagem, teste de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação, não houve ajuste coerente da distribuição amostral a nenhuma distribuição teórica. Todavia, o aumento do déficit hídrico, induzido através do incremento nas concentrações de NaCl na solução do substrato, foi responsável por tendência de aumento nos valores médios da PC, TG e IV, chegando a valores máximos de 35, 74%, e 4,04, no nível de -1,5 MPa no fotoperíodo de 12 horas luz, respectivamente (Figuras 3A, B e C).

Estes resultados indicam que as sementes voltaram a germinar normalmente, sugerindo que a inibição da germinação nos tratamentos era apenas em função do estresse salino. No tempo médio de germinação (Figura 3D), observou-se o aumento de 86% do potencial osmótico de 0 ao -0,3 MPa, ocorrendo uma estabilização do tempo de germinação logo em seguida com valor médio de 5,62 dias.

Figura 3. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) na recuperação de sementes de *Amaranthus deflexus* L. na ausência (● —) e presença (●) de 12h diárias de luz, sob diferentes condições salinas induzido pelo NaCl. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Na ausência de luz não houve ajuste coerente da distribuição amostral a nenhuma distribuição teórica para todas as variáveis estudadas. Todavia, observou-se sensível tendência de aumento nos valores médios de PC, IV e TG, chegando aos valores máximo de 5,5% e 1 no potencial osmótico de -1,2 MPa para PC e IV, e 13,5% no potencial osmótico de -0,6 MPa para TG. Esses resultados são inferiores aos observados no tratamento 12 horas luz, sugerindo que essa espécie tem natureza fotoblástica positiva, de acordo com Labouriau (1983). Esse caráter revela apenas a resposta quantitativa, uma vez que as sementes germinaram tanto na presença como na ausência de luz.

Diversos autores, tais como Buhler et al. (1995), Pereira et al. (2012) e Vidal e Bauman (1996), mostram como a sobrevivência de espécies consideradas daninhas pode estar relacionada a não germinação de sementes em condições desfavoráveis do ambiente, caracterizando significado ecológico, pois previne o desenvolvimento de plântulas em solos

sem os recursos suficientes para suportar o crescimento subsequente. Dessa forma, espécies cujas sementes não têm esse mecanismo de controle poderiam germinar todas ao mesmo tempo, após curto período de umedecimento do solo, comprometendo o desenvolvimento dos indivíduos formados e das futuras gerações (PEREIRA et al.,2012; VAN DEN BERG; ZENG, 2006).

Foi avaliada a aplicabilidade do método multivariado de agrupamento hierárquico de Ward (Figura 4), com base nos valores médios do efeito combinatório de níveis de estresse salino nos fotoperíodos de 12 horas luz e 24 horas escuro (Tabela 2), para apresentar as melhores combinações de tratamentos para resposta ao conjunto de variáveis que qualificam a germinação e a perpetuação da espécie, em detrimento da priorização.

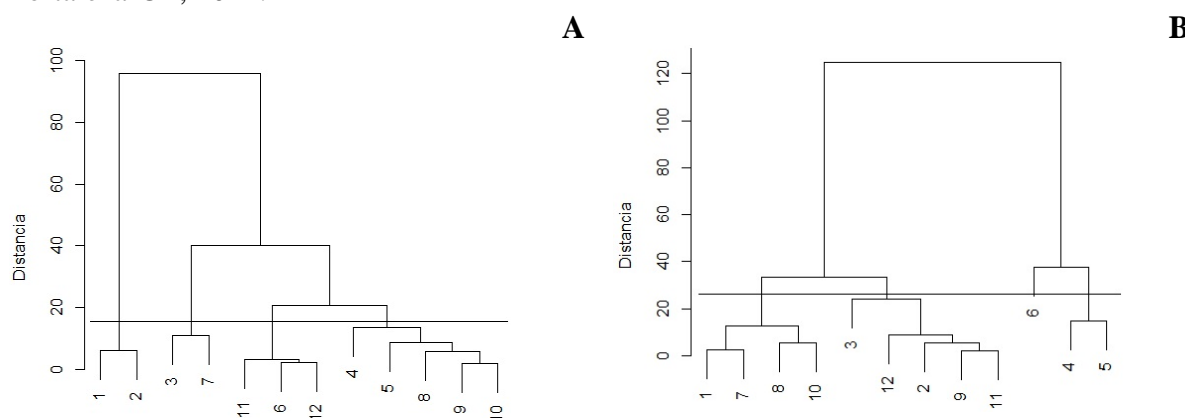
Tabela 2. Análise de agrupamento hierárquico de Ward para primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (TG), índice de velocidade de germinação (IV) e tempo médio de germinação (TM) para sementes de *Amaranthus deflexus* L. em função de níveis de condições salinas nos fotoperíodos de 12 horas luz e 24 horas escuro.

Trat.	MPa	Média Experimento				Média Experimento Recuperação			
		12 horas luz (Dendrograma A)				12 horas luz (Dendrograma B)			
		PC	TG	IV	TM	PC	TG	IV	TM
1	0,0	14,00	57,00	5,52	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-0,3	12,50	52,00	4,46	6,98	2,00	16,00	1,64	6,51
3	-0,6	1,00	27,00	1,91	7,81	5,50	30,50	3,21	5,63
4	-0,9	0,00	15,50	1,11	8,38	13,50	46,50	4,81	5,66
5	-1,2	0,00	7,50	0,37	11,39	22,50	56,00	7,05	4,88
6	-1,5	0,00	2,00	0,08	0,00	35,00	74,00	9,91	0,00
		24 horas escuro				24 horas escuro			
7	0,0	9,50	22,50	2,31	5,47	0,00	0,50	0,03	2,00
8	-0,3	2,50	8,00	0,68	6,62	2,50	4,00	0,49	5,63
9	-0,6	1,00	5,00	0,47	4,25	4,00	13,50	1,34	6,13
10	-0,9	0,00	4,00	0,31	5,13	2,00	9,00	0,84	5,48
11	-1,2	0,00	1,00	0,07	2,38	5,50	12,50	1,21	6,50
12	-1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	13,00	1,15	0,00

Fonte: Elaboração do autor.

Dentre os quatro grupos formados no dendrograma A, 1 e 2 definiram o grupo I, ou seja, (0 e -0,3 MPa) apresentaram similaridade e maiores médias de PC, TG, IV e TM, provenientes do efeito combinatório de estresse salino e fotoperíodos (Tabela 2). Os demais grupos formados foram compostos pelos tratamentos 3 e 7 (-0,6 e 0 MPa) (grupo II), 11, e 12 (-1,2 e -1,5) (grupo III), e 4, 5, 8, 9 e 10 (-0,9; -1,2; -0,3; -0,6 e -0,9) (grupo 4) (Figura 4A).

Figura 4. Dendrogramas de agrupamento hierárquico de Ward para dissimilaridade entre tratamentos do experimento com diferentes condições salinas (A) e recuperação (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

No experimento de recuperação, também foi verificada a formação de quatro grupos. Os tratamentos 1; 7; 8 e 10 (0; 0; -0,3 e -0,9 MPa) definiram o grupo I e apresentaram as menores médias de recuperação de germinação (Tabela 2). Os demais grupos formados foram compostos pelos tratamentos 3, 12, 2, 9 e 11 (-0,6; -1,5; -0,3; -0,6 e -1,2 MPa) (grupo II), 6 (-1,5 MPa) (grupo III) e 4 e 5 (-0,9 e -1,2 MPa) (grupo 4) (Figura 4B). Sendo estes dois últimos responsáveis pelas maiores médias de recuperação de sementes de *A. deflexus* quanto as variáveis PC, TG, IV e TM, reafirmando o verificado na Figura 3 e sugerindo a utilização dessa técnica multivariada em estudos subsequentes.

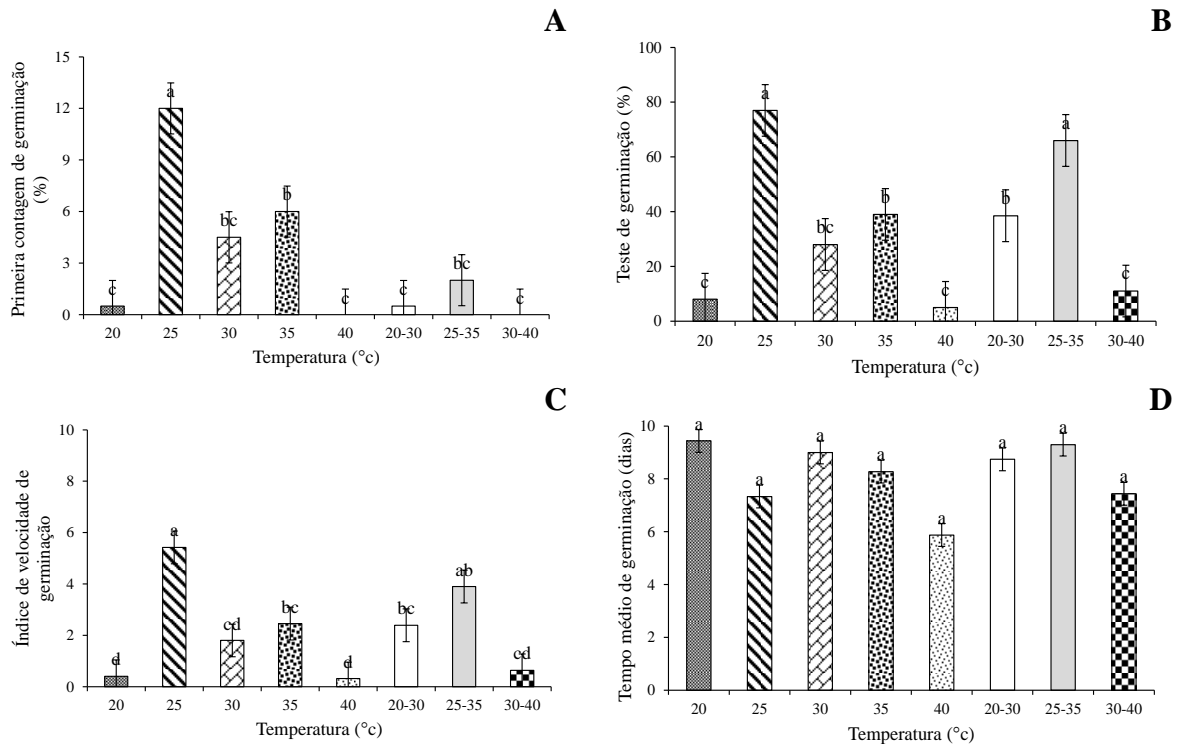
A viabilidade de aplicação de métodos multivariados de agrupamento é frequentemente investigada na experimentação agrônômica (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008). Nesse sentido, a utilização do método de agrupamento hierárquico permitiu a observação do efeito de resposta do conjunto de variáveis que qualificam a germinação. Métodos hierárquicos são frequentemente utilizados para discriminação de grupos de indivíduos com atributos agrônômicos similares. Neste trabalho, foi aplicado para discriminação de combinações com escores médios similares e apresentou resultados coerentes e consistentes.

3.2 EXPERIMENTO 2

Na primeira contagem de germinação, teste de germinação e índice de velocidade de germinação, a análise de variância demonstrou efeitos significativos ($p < 0,01$) para o efeito das temperaturas sobre o desempenho fisiológico das sementes de *A. deflexus* (Tabela 1).

Houve diferença significativa entre os tratamentos testados na PC (Figura 5A), com destaque à temperatura constante de 25 °C, que propiciou maior média de germinação, com 100% de incremento, quando comparada com o segundo melhor tratamento (35 °C). Essas informações permitem entender os altos níveis de infestação dessas espécies nas áreas agrícolas brasileiras, principalmente na região Nordeste, que apresenta temperatura média variando entre 23 e 27 °C, com altas taxas de radiação (INMET, 2014). Na temperatura constante de 40 e alternada 30-40 °C, não foi verificada variação na germinação de sementes de *A. deflexus*.

Figura 5. Primeira contagem de germinação (A), teste de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e tempo médio de germinação (D) de sementes de *Amaranthus deflexus* L. sob diferentes condições térmicas. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Para TG, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos testados (Figura 5B) com as temperaturas constantes de 25 e 25-35 °C, as quais apresentam germinação superior, em média, 83,3% superior quando comparado com o tratamento de 35 °C. Para Zhou et al. (2005), algumas espécies precisam ser expostas por períodos prolongados à luz, mesmo que a temperatura esteja dentro de uma amplitude subótima para a germinação. Chauhan e Johnson (2009), trabalhando com uma importante planta daninha, a malícia (*Mimosa pudica* L.), observaram que a germinação para essa espécie é maximizada sob as temperaturas alternadas de 35-25 e 30-20°C.

A germinação final das sementes de *A. deflexus* foi inferior nos tratamentos de 20, 40 e 30-40 °C. Para muitas espécies, como verificado por Norsworthy e Oliveira (2007) para *Xanthium strumarium* L. existe relação entre amplitude térmica e a luz. Para esta espécie, foi constatado que temperaturas constantes diurnas e noturnas reduzem a necessidade de luz para a sua germinação. Por outro lado, quando as sementes são submetidas a ambientes com amplitude térmica variada, por exemplo, 25/30 ou 20/30 °C confirma-se a necessidade de elevada intensidade de luz, sendo condição indispensável para ocorrência da sua germinação (NORSWORTHY; OLIVEIRA, 2007). Nesse sentido, essas características adaptativas conferem maior distribuição temporal e espacial na germinação das diferentes espécies, permitindo sua sobrevivência em ambientes menos propícios ao seu desenvolvimento (ZHOU et al., 2005).

No IV, houve diferença significativa entre os tratamentos testados (Figura 5C), sendo que as temperaturas de 25 e 25-35 °C se sobressaíram das demais com valores de 5,41 e 3,89, respectivamente. Otegui et al. (2005) avaliaram a influência da temperatura e da luz na taxa e velocidade de germinação de *Paspalum guenoarum* Arechav., sendo constatado que a temperatura alternada de 20/35 °C (dia/noite) foi a mais apropriada para expressar o potencial germinativo dessa espécie, independentemente da luz. Os menores índices de velocidade de germinação novamente foram observados nas temperaturas de 20, 40 e 30-40 °C (Figura 5C).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos testados para TM, segundo a análise de variância (Tabela 1). Porém, fica evidente que a zona de conforto para germinação das sementes de *A. deflexus* está em torno do intervalo de 25 a 35 °C, em que, apesar de não verificada diferença estatística, apresentou bons resultados no tempo médio de germinação que varia em média por volta de 8 dias (Figura 5D). Esses resultados podem explicar a alta capacidade competitiva dessa espécie sobre as culturas tropicais, as quais são cultivadas geralmente sob essa faixa de temperatura durante todo o ciclo. Nesse sentido, Keshtkar et al. (2009), avaliando os efeitos da temperatura e profundidade de semeadura de sementes de *Hordeum spontaneum* L., verificaram rápida emergência e desenvolvimento inicial dessa espécie sob temperatura alternada de 25-20 °C, confirmando a superioridade dessa planta daninha sobre a cultura da aveia.

As baixas temperaturas podem reduzir as taxas metabólicas, até que as vias essenciais ao início do processo germinativo não possam mais operar, enquanto temperaturas elevadas podem causar estresse térmico nas sementes, inviabilizando a germinação (MESGARAN et al., 2013).

De modo geral, possivelmente pela alta adaptação das plantas daninhas a climas quentes e secos, temperaturas elevadas podem favorecer a germinação de determinadas espécies, assim como em climas frios e úmidos, conforme observado em condições naturais. No caso da espécie *A. deflexus*, observou-se amplitude térmica restrita, não apresentando adaptações as extremidades estudadas.

4 CONCLUSÕES

1. Os estresses salinos afetaram negativamente o vigor das sementes de *A. deflexus* desde o nível de estresse de -0,3 MPa;
2. O vigor das sementes de *A. deflexus* foi comprometido pelo escuro total, independentemente dos níveis de estresse aplicados;
3. Houve superioridade na percentagem final de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes de *A. deflexus* na temperatura de 25 °C constante e no regime alternado de 25-35 °C.

REFERÊNCIAS

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BUHLER, D. D.; DOLL, J. D.; PROOST, R. T.; VISOCKY, M. R. Integrating mechanical weeding with reduced herbicide use in conservation tillage corn production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 3, p. 507-512, 1995.

BRASIL, Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 399p.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; REIS, R. C. P.; SOUZA, J. R.; JOST, E. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da divergência genética em cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 38, no. 8, p. 2138-2145, 2008.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E Germination, emergence, and dormancy of *Mimosa pudica*. **Weed Biology and Management**, Danvers, v.9, n.1, p.38-45, 2009.

HOLMES, M. G.; SMITH, H. The function of phytochrome in plants growing in the natural environment. **Nature**, London, v. 254, n. 5500, p. 512-514, 1975.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Gráficos climatológicos: capitais do nordeste**. Brasília: INMET, 2013. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 15 jan. 2014

KESHTKAR, E.; KORDBACHEH, F.; MESGARAN, M. B.; MASHHADI, H. R.; ALIZADEH, H. M. Effects of the sowing depth and temperature on the seedling emergence and early growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and wheat. **Weed Biology and Management**, Danvers, v.9, n.1, p.10-19, 2009.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 174 p. 1983.

LETCHAMO, W.; GOSSELIN, W. A. Light, temperature and duration of storage govern the germination and emergence of *Taraxacum officinale* seed. **Journal of Horticultural Science**, Headley, v. 71, n. 3, p. 373-377, 1996.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MESGARAN, M. B.; MASHHADI, H. R.; ALIZADEH, H.; HUNT, J.; YOUNG, K. R.; COUSENS, R. D. Importance of distribution function selection for hydrothermal time models of seed germination. **Weed Research**, Oxford, v. 53, n.2, p.89-101, 2013.

NORSWORTHY, J. K.; OLIVEIRA, J. Light and temperature requirements for common cocklebur (*Xanthium strumarium*) germination during after-ripening under field conditions. **Weed Science**, Lawrence, v. 55, p. 227-234, 2007.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J.; PRISCO, J. T.; ALENCAR, N. L. M. Seed priming effects on growth, lipid peroxidation and activity of ROS scavenging enzymes in NaCl-stressed sorghum seedlings from aged seeds. **Journal of Plant Interactions**, Abingdon, v. 7, n.3, p. 151-159, 2012.

OTEGUI, M. B.; PÉREZ, M. A.; SOUZA MAIA, M. Efecto de la temperatura y la luz en la germinación de semillas de *Paspalum guenoarum*. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 27, n. 1, p. 190-194, 2005.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 537-545, 2012.

R CORE TEAM (2014). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

STECKEL, L. E.; SPRAGUE, C. L.; STOLLER, E. W.; WAX, L. M. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. **Weed Science**, Lawrence, v.52, p.217-221, 2004.

VAN DEN BERG, L.; ZENG, Y. J. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 72, n. 2, p. 284-286, 2006.

VIDAL, R. A.; BAUMAN, T. T. Surface wheat (*Triticum aestivum*) residues, giant foxtail (*Setaria faberi*), and soybean (*Glycine max*) yield. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 4, p. 939-943, 1996.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n. 11/12, p.1311-1317, 1991.

ZHOU, J.; DECKARD, E. L.; MESSERSMITH, C. G. Factors affecting eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) seed germination. **Weed Science**, Lawrence, v. 53, p. 651-656, 2005.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v.58, n.301, p.236-244, 1963.

CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DE HERBICIDAS E NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO SOBRE O ESTABELECIMENTO INICIAL DO *Amaranthus deflexus*

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência do déficit hídrico no crescimento e desenvolvimento de *Amaranthus deflexus* L. após a aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo e parcelas subdivididas no tempo. A análise de variância foi realizada utilizando a metodologia de modelos mistos. Para as variáveis massa seca total, altura de plantas, diâmetro do caule, conteúdo relativo de água e teor relativo de clorofila, as plantas daninhas foram submetidas a três fatores: produtos (água, glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D), e condições hídricas (100, 60 e 30% da capacidade da bandeja), aplicadas nas parcelas e dias após a aplicação do produto (0, 2, 4, 6 e 8 dias) aninhado nas subparcelas. Para avaliação da escala de fitotoxicidade foram realizadas análises do segundo ao oitavo dia após a aplicação dos herbicidas, configurando 60 combinações. Ao final do ensaio, foi verificada redução na magnitude dos caracteres quantitativos de crescimento das plantas de *A. deflexus* em função da aplicação de herbicidas associados às condições de estresse hídrico. Para a variação aleatória resultante do efeito aninhado do tempo nas subparcelas, foi verificada tendência de decréscimo dos caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa seca total, teor de clorofila total e conteúdo relativo de água, bem como, aumento de fitotoxicação das plantas daninhas até o oitavo dia após aplicação dos herbicidas, com o aumento do comprimento dos subintervalos de avaliação.

Palavras-chave: Caruru rasteiro. Déficit hídrico. Análise de crescimento. Controle químico de plantas daninhas. Modelos mistos.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the influence of hydric stress on growth and development of *Amaranthus deflexus* L. after the application of herbicides via different mechanisms of action. A completely randomized design with double factorial and subplots split over the time was used. The analysis of variance was done using the mixed model methodology. The variables were the total dry mass, plant height, stem diameter, relative water content, and the relative percentage of chlorophyll. The weed was subjected to three products: (water, glyphosate, diuron, nicosulfuron and 2.4 D), hydric conditions (100, 60 and 30% of field capacity) and time (0, 2, 4, 6 and 8 days) after the application of the products. In order to determine phytotoxicity, evaluations were conducted from two to eight days after the application of herbicides in a total of 60 combinations. At the end of the experiment, the reduction in the quantitative characteristics of growth in *A. deflexus* plants as a function of the application of herbicides in association with hydric stress was determined. In relation to the random variation caused by the accumulation of time in the subplots, it was found that the tendency of reduction in the height, stem diameter, total dry mass, total percentage of chlorophyll and relative water content of plants. There was an increase in the phytotoxicity to weeds up to the eighth day after the application of herbicides following prolongation in the interval of evaluation.

Key words: Caruru rasteiro. Hydric deficit. Growth analysis. Chemical control of weed plants. Mixed models.

1 INTRODUÇÃO

Um dos fatores mais importantes relacionados às interferências diretas no ambiente agrícola são as plantas daninhas, que afetam negativamente a produção, por competir pelos recursos limitantes do meio (VITORINO et al., 2012).

Por sua vez, características de uma comunidade infestante, bem como a cultura, manejo e fatores ambientais (clima, solo, estresses, etc.), em geral, estão diretamente relacionados com o grau de interferência das plantas daninhas (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005). Além disso, podem influenciar na penetração, absorção e translocação dos herbicidas, bem como seu efeito final, pois acarreta mudanças morfológicas e composição das plantas (ROMAN et al., 2005).

O controle de comunidades infestantes, de forma geral, onera custos e aumenta o preço do produto final. Contudo, condições ambientais peculiares, associadas ao ingrediente ativo adequado, podem retornar resultados sinérgicos e efeitos no controle. Sob estresse hídrico, a cutícula das folhas desidrata, e isso, potencialmente, reduz a absorção de herbicidas, resultando, assim, em possível menor fitotoxicidade à cultura e menor eficiência do herbicida no controle das plantas daninhas (PEREGOY et al., 1990).

Estudos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas fornecem informações sobre os diferentes estádios fenológicos e padrões de crescimento vegetal (CARVALHO et al., 2008). Os resultados permitem a análise do comportamento das plantas perante os fatores ecológicos, bem como sua ação sobre o ambiente, principalmente quanto a sua interferência sobre outras plantas, o que pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas de manejo integrado de plantas daninhas (LUCCHESI, 1984).

Análise de crescimento ainda é um dos meios mais simples e precisos para inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos para o crescimento vegetal, tornando possível o conhecimento da cinética de produção de biomassa das plantas, sua distribuição e eficiência ao longo da ontogenia (BENINCASA, 1988).

Contrastando com a necessidade, há elevada demanda por resultados de pesquisas com análise de crescimento das espécies mais agressivas e de maior dispersão na agricultura. Dentre elas, a *Amaranthus deflexus* L., popularmente conhecida como caruru rasteiro, que ocorre espontaneamente em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das importantes plantas daninhas na América do Sul, presente em praticamente todo o território brasileiro. Também é limitado o conhecimento sobre a recomendação e aplicação de técnicas e medidas

de controle, bem como a relação entre a ação de herbicidas e o comportamento do crescimento e desenvolvimento dessa espécie em ambientes com déficit hídrico.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características de crescimento e desenvolvimento de *A. deflexus*, mediante aplicação de herbicidas em gradiente crescente de níveis de estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, localizada no Setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza-CE, cujas coordenadas geográficas são 03°43'02'' S e 38°32'35'' O, com altitude de 21 m. A configuração de ambiente protegido foi obtida utilizando uma cobertura com filme plástico difusor de 100 µm e sombrite 30%, para redução da temperatura interna do ambiente.

As sementes de caruru rasteiro (*Amaranthus deflexus* L.) foram semeadas a lanço em bandejas de 8 L, contendo uma mistura de areia lavada, esterco bovino e pó de coco, na proporção 2:1:1, sendo irrigadas após a semeadura, para garantir a germinação e posterior desenvolvimento das plantas daninhas. No início da emergência, foi realizado desbaste, obtendo estande final de 50 plantas por bandeja.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo (5 x 3), com o primeiro fator correspondendo a cinco produtos (glifosate, diuron, nicosulfuron, 2,4-D e água) e o segundo a três condições hídricas (sem déficit hídrico, déficit hídrico moderado e déficit hídrico severo), e parcelas subdivididas no tempo, totalizando 15 tratamentos, com quatro repetições cada.

As avaliações foram realizadas em cinco intervalos de tempo (0, 2, 4, 6 e 8 dias após aplicação dos produtos), caracterizando este fator com efeito aninhado nas subparcelas. Para avaliação da escala de fitotoxicidade, foram realizadas avaliações do segundo ao oitavo dia após a aplicação dos quatro herbicidas.

Os produtos formulados utilizados foram glifosate 360 g L⁻¹ (1,5 L ha⁻¹), diuron 200 g L⁻¹ (1,5 L ha⁻¹), nicosulfuron 250 g L⁻¹ (1,0 L ha⁻¹) e 2,4-D amine 670 g L⁻¹ (1,0 L ha⁻¹), tendo água como testemunha. Os herbicidas foram utilizados na dose intermediária, de acordo com a recomendação da bula, para o controle químico da planta daninha estudada.

A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas daninhas apresentaram três pares de folhas definitivas. Os tratamentos químicos foram aplicados utilizando-se um pulverizador costal manual, equipado com um reservatório de 20 L, com ponta de pulverização do tipo jato plano "Teejet" XR 11002 VS. O equipamento foi calibrado para proporcionar um consumo de calda de 200 L ha⁻¹.

Determinou-se a umidade gravimétrica do substrato, realizada com a pesagem do recipiente (bandeja) após a saturação da mesma. A estimativa da capacidade do recipiente

(bandeja) foi realizada utilizando a expressão $CR = \left[100 \left(\frac{Pu - Ps}{Ps} \right) \right] ds$; onde: CR é a capacidade do recipiente (bandeja) (%); Pu é o peso da amostra de substrato úmido (g); Ps é o peso da amostra de substrato seco (g); ds é a densidade do substrato ($g\ cm^{-3}$). Após o cálculo da capacidade da bandeja utilizou-se à curva de retenção do solo para determinar a condição hídrica utilizada no experimento.

A partir do cálculo da capacidade do recipiente foram determinadas as condições hídricas utilizadas no experimento: a) sem déficit hídrico: capacidade do recipiente, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 100%; b) déficit hídrico moderado, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 60%; e c) déficit hídrico severo, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 30%.

As avaliações visuais de fitotoxicidade (FIT) foram realizadas aos 2, 4, 6 e 8 dias após a aplicação dos herbicidas, através de uma escala de percentual de notas, na qual 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria demonstrada pelas plantas e 100 (cem) a morte das plantas, pelo critério da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD (1995).

Os teores relativos de clorofila total (CLT) foram determinados aos 0, 2, 4, 6 e 8 após a aplicação dos produtos (DAA) com o auxílio de um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Co., Ltd, Osaka, Japan), sendo os resultados expressos em unidades de leitura do aparelho. Nesse mesmo período, foram obtidos dados de duas plantas por parcela de altura da parte aérea (ALT) e diâmetro de caule (DIA), ambos em (cm). Após o procedimento da coleta, o material foi separado em raízes, caules e folhas e levados à estufa com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65°C, até atingir peso constante.

Após a secagem, foi obtida a massa seca das raízes (MSR), dos caules (MSC) e das folhas (MSF) das plantas daninhas com o auxílio de balança analítica de precisão. A massa seca total (MST) foi estimada através da soma de MSR, MSC e MSF e expressa em ($g\ planta^{-1}$).

O conteúdo relativo de água da parte aérea (CRA) foi determinado como descrito por Catsky (1960). Das primeiras folhas completamente expandidas, cinco plantas em cada bandeja, foram retirados 5 discos de 1 cm de diâmetro. Após pesagem e obtenção da massa fresca (MF), os discos foliares permaneceram em água destilada por 1 h até atingirem a massa túrgida (MT). Em seguida, os discos foram colocados em estufa à 65 °C durante 72 h, para obtenção da massa seca (MS). Os dados obtidos foram inseridos na fórmula: $CRA (\%) = [(MF - MS)/(MT - MS)] \times 100$.

Para análise estatística, foi definida a natureza dos efeitos do modelo que atuam sobre cada variável resposta (y_{ij}). Os fatores considerados como de efeitos fixos foram os produtos (água e herbicidas) e níveis de condições hídricas. O fator horas para análise de subamostras após a aplicação dos herbicidas (tempo) foi considerado de efeito aleatório.

O processamento de dados foi realizado utilizando a metodologia de modelos lineares mistos, utilizando o pacote lme4 do programa R (R CORE TEAM, 2015). Foi realizada análise de deviance aplicando o teste da razão de verossimilhança (LRT), para os efeitos aleatórios do modelo (STURION; RESENDE, 2010), e selecionado o modelo linear mais responsivo para predição das médias.

Os modelos foram testados para verificação do efeito das interações de efeito aleatório. Os modelos testados foram, respectivamente, m1 (sem efeito de interação): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijkl}]$, m2 (somente interações duplas): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + S_{il} + \varepsilon_{ijkl}]$; m3 (somente interação tripla): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + S_{il} + R_{jl} + \varepsilon_{ijkl}]$ e m4 (interações duplas e triplas): $Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + S_{il} + \varepsilon_{ijkl}$, onde: Y_{ijkl} é o valor observado no i -ésimo nível do fator A (níveis de estresse), em combinação com o j -ésimo nível do fator B (herbicidas), com o k -ésimo nível do fator C (tempos para análise de subparcelas), na l -ésima parcela; μ – é a média geral, comum a todas as observações; α_i é o efeito do nível i ($i = 1, 2, \dots, a$) do fator A, alocado na parcela; β_j é o efeito do nível j ($j = 1, 2, \dots, b$) do fator B, alocado na parcela; e γ_k é o efeito do nível k ($k = 1, 2, \dots, c$) do fator C, alocado na subparcela; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A com o j -ésimo nível do fator B; $(\alpha\gamma)_{ik}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A com o k -ésimo nível do fator C; $(\beta\gamma)_{jk}$ é o efeito da interação do j -ésimo nível do fator B com o k -ésimo nível do fator C; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A, j -ésimo nível do fator B e k -ésimo nível do fator C; S_{il} é o efeito da l -ésima parcela recebendo o i -ésimo nível do fator A $N(0, \sigma^2)$ erro a ; ε_{ijkl} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijkl} , tal que $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$, erro b .

Sugerido o modelo, utilizando o método de máxima verossimilhança, foi aplicado o teste F da análise de variância (anova) para os efeitos fixos. Os procedimentos pós-anova realizados foram da interação e ajustamento de modelos de médias de regressão linear simples para o fator aleatório (dias após a aplicação), dentro de cada nível dos fatores fixos. No desdobramento das interações, foram utilizados os testes de Duncan e Dunnet ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com teste da razão de verossimilhança (LRT), de forma geral foram sugeridos como responsivos os modelos com interação tripla entre os fatores (S x H x T) para todas as variáveis (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de deviance os para os efeitos aleatórios dos modelos m1, m2, m3 e m4.

Modelo	G.L.	FIT		G.L.	MST	
		Deviance	LRT		Deviance	LRT
M1	8	1227,7	-	9	-464,3	-
M2 ^{M1}	18	1179,1	48,6**	21	-551,1	86,8**
M3 ^{M1}	9	1172,4	55,3**	10	-509,7	45,3**
M4 ^{M2}	19	1159,5	19,6**	22	-552,5	1,3 ^{ns}
		ALT			DIA	
M1	9	1297,4	-	9	683,1	-
M2 ^{M1}	21	1211,6	85,8**	21	649,6	33,5**
M3 ^{M1}	10	1266,1	31,3**	10	675,7	7,3**
M4 ^{M2}	22	1211,6	0 ^{ns}	22	649,5	0,1 ^{ns}
		CRA			CLT	
M1	9	2129,8	-	9	1585,6	-
M2 ^{M1}	21	1998,8	131**	21	1527,1	58,5**
M3 ^{M1}	10	2051,1	78,7**	10	1559,8	25,8**
M4 ^{M2}	22	1997,7	1,1 ^{ns}	22	1527,0	0,1 ^{ns}

** , * significativo a 1% e 5% pelo teste de qui-quadrado respectivamente; ^{ns} não significativo. ¹Modelo linear. M1 – modelo linear misto 1; M2^{M1} – Modelo linear misto 2 com interação dupla testada por M1; M3^{M1} - Modelo linear misto 3 com interação tripla testada por M1; M4^{M2} modelo linear misto, com interações duplas e triplas, testado com M2.

Neste tipo de análise, o modelo mais responsivo é sugerido pelos menores valores de Deviance, em relação ao modelo saturado teórico.

Foi verificado efeito significativo para o modelo completo do arranjo fatorial com parcelas subdivididas no tempo (m1) apenas para FIT. De forma geral, o desdobramento de efeitos de interações triplas é complexo, mas comum em experimentos de natureza biométrica. Nestas, a inferência estatística é relativamente frágil, ainda mais quando a repetibilidade dos resultados experimentais deve ser verificada em campo. Contudo, neste trabalho o entendimento deste tipo de interação é necessário para a compreensão do arranjo complexo de fatores que regem reações metabólicas que resultam na resistência, tolerância ou suscetibilidade de espécies de plantas daninhas a ingredientes ativos e condições ambientais adversas.

De forma genérica, o resultado obtido com LRT identificou efeito significativo dos modelos M2 e M3 para MST, ALT, DIA, CRA e CLT. Todavia, do ponto de vista biológico, m3 possui o estimador do efeito da interação (S x H x T), que caracteriza a resposta fisiológica das plantas ao efeito teórico combinado.

Não foi verificado efeito significativo dos efeitos fixos (condições hídricas e produtos) e possíveis interações para as variáveis fitotoxicidade (FIT), altura de plantas (ALT), diâmetro de caule (DIA), conteúdo relativo de água (CRA), massa seca total (MST) e conteúdo relativo de clorofilas total (CLT) pela análise univariada de variância (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise univariada de variância para os efeitos fixos do modelo para as variáveis ALT, DIA, CRA, MST, CLT e FIT.

FV	G.L.	QM					G.L.	QM
		ALT	DIA	CRA	MST	CLT		FIT
STRES (S)	2	116,8 ^{ns}	6,2 ^{ns}	1666,5 ^{ns}	0,12 ^{ns}	169,2 ^{ns}	2	850,1 ^{ns}
HERB (H)	4	47,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1460,9 ^{ns}	0,09 ^{ns}	126,2 ^{ns}	3	631,3 ^{ns}
S x H	8	16,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	463,2 ^{ns}	0,09 ^{ns}	50,3 ^{ns}	6	144,5 ^{ns}

^{ns}Não significativo pelo teste F de Snedecor a 5% de probabilidade. QM: Quadrado médio da análise univariada de variância obtido pelo método de mínimos quadrados.

Fonte: Elaboração do autor.

No desdobramento da interação tripla de natureza aleatória, foi verificado que os herbicidas avaliados proporcionaram baixa efetividade no controle das plantas de caruru rasteiro em cada intervalo de tempo de avaliação (Tabela 3).

Tabela 3. Médias estimadas pelo método de modelo misto para fitotoxicidade (%) observada em plantas de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, herbicidas e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos			
	2	4	6	8
Sem Estresse				
Glifosate	40a	35,7a	36,5a	42,1a
Diuron	44,1a	40,4a	40,4a	33b
Nicosulfuron	37,2b	34,7a	35,5a	34b
2,4 D	31,1b	39,7a	35,5a	29,9b
Estresse moderado				
Glifosate	31,1b	34,7a	37,5a	40,1b
Diuron	30b	33,6b	34,4a	47,1a
Nicosulfuron	39,2a	39,8a	39,4a	35,1b
2,4 D	36a	35,7a	37,3a	39,1b
Estresse severo				
Glifosate	34,8a	34,1a	36,3a	39,4a
Diuron	37,7a	35,6a	32,4b	33,8a
Nicosulfuron	39,5a	37,4a	37,4a	33,2b
2,4 D	39,8a	40,2a	40,2a	38a

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

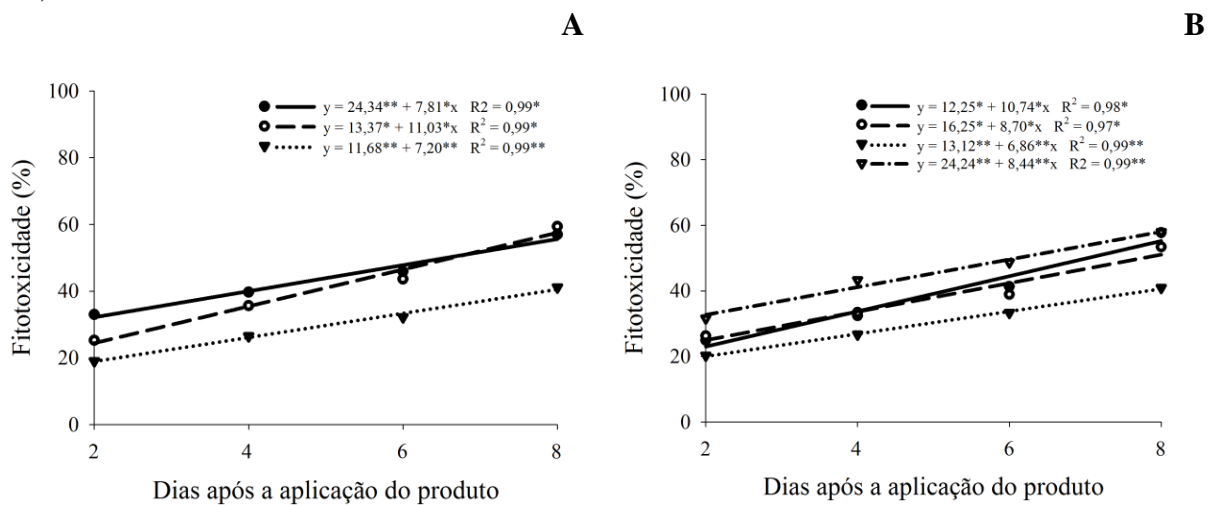
Para o tratamento com ausência de estresse hídrico, verificou-se maior porcentagem de controle nas plantas tratadas com o herbicida glifosate, aos 8 DAA, da ordem de 42,1%. Já no tratamento estresse moderado, plantas tratadas com o herbicida diuron obtiveram maior porcentagem de controle aos 8 DAA, alcançando 47,1%. No tratamento estresse severo, verificou-se efeito significativo ($P < 0,05$) apenas nos dias 6 e 8 DAA. A menor porcentagem de controle foi observada nas plantas tratadas com os herbicidas diuron e nicosulfuron, aos seis e oito dias após aplicação dos produtos, respectivamente.

Karam et al. (2010), ao aplicarem doses crescentes de 0; 6; 12; 18; 24 e 36 g ha⁻¹ de nicosulfuron em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, com 2-4 folhas e 2-4 afilhos, constataram que o herbicida aos 21 DAA causou injúrias ao Piatã e que foram agravadas quando aumentadas as doses, sendo que 80% das plantas nos dois estágios fenológico foram intoxicadas sob 10,1 e 32,6 g ha⁻¹. Já Kipper et al. (2012), trabalhando curva de dose resposta de nicosulfuron no controle de capim-custódio, verificaram um nível satisfatório de controle das plantas daninhas (acima de 80%) a partir dos 14 DAA, com a aplicação de 60 g ha⁻¹.

Desdobramento as interações duplas, para a compreensão da influência do tempo (dias após a aplicação), foi realizado o ajuste de função-resposta. Para todas as condições

hídricas, foi observado aumento da porcentagem de controle, com tendência de crescimento linear até o oitavo dia após aplicação, chegando aos valores máximos de 57; 59 e 41%. A menor porcentagem de controle de plantas submetidas ao estresse severo, provavelmente foi resultante da dificuldade de absorção e/ou translocação dos herbicidas nas plantas e, conseqüentemente, resultando em menor fitointoxicação (Figura 1A).

Figura 1. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos herbicidas no controle de *Amaranthus deflexus* L. (●— glifosate; ○-- diuron; ▼..... nicosulfuron; ▼--- 2,4 D) (A). Efeito na fitotoxicidade em função dos dias após a aplicação dos herbicidas. (●— sem estresse; ○-- estresse moderado; ▼..... estresse severo) (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

O ajuste da função resposta para plantas tratadas com todos os herbicidas apresentou tendência crescente até o 8 DAA, em que os maiores níveis de intoxicação das plantas de caruru rasteiro, 57,7; 53,4; 40,9 e 57,9%, foram observados em plantas tratadas com glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D respectivamente (Figura 1B).

Esses baixos níveis de controle das plantas daninhas ocorreram, possivelmente, por causa do tempo necessário para que os herbicidas sistêmicos começassem a agir efetivamente. Inicialmente, após a aplicação, os herbicidas penetram pela cutícula das folhas e, em seguida, precisam ganhar acesso ao transporte de longa distância do floema para atingir áreas remotas do local de contato de sua aplicação (MARCHI et al., 2008).

A duração desse processo depende de vários fatores, incluindo o estágio de desenvolvimento das plantas no período de aplicação. Neste trabalho, a pulverização ocorreu 19 dias após a emergência, com as plantas de caruru rasteiro ainda em fase inicial de desenvolvimento. Todavia, o intervalo no qual foram feitas as avaliações de fitotoxicidade foi curto, dificultado o percentual de controle nesse período.

Para massa seca total das plantas daninhas, foi observada influência de todos os tratamentos testados (Tabela 4).

Tabela 4. Médias estimadas pelo método de modelo misto para massa seca total (g planta⁻¹) de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos				
	0	2	4	6	8
Sem Estresse					
Água	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
Glifosate	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,2*	1,2*	1,2*
Diuron	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,2*	1,2*
Nicosulfuron	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}
2,4 D	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,2*
Estresse Moderado					
Água	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2
Glifosate	1,3*	1,4*	1,4*	1,3*	1,3*
Diuron	1,3*	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3*	1,3*
Nicosulfuron	1,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3*	1,3*
2,4 D	1,3*	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3*	1,2 ^{ns}
Estresse Severo					
Água	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Glifosate	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}
Diuron	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}
Nicosulfuron	1,2*	1,2*	1,2*	1,2*	1,2*
2,4 D	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

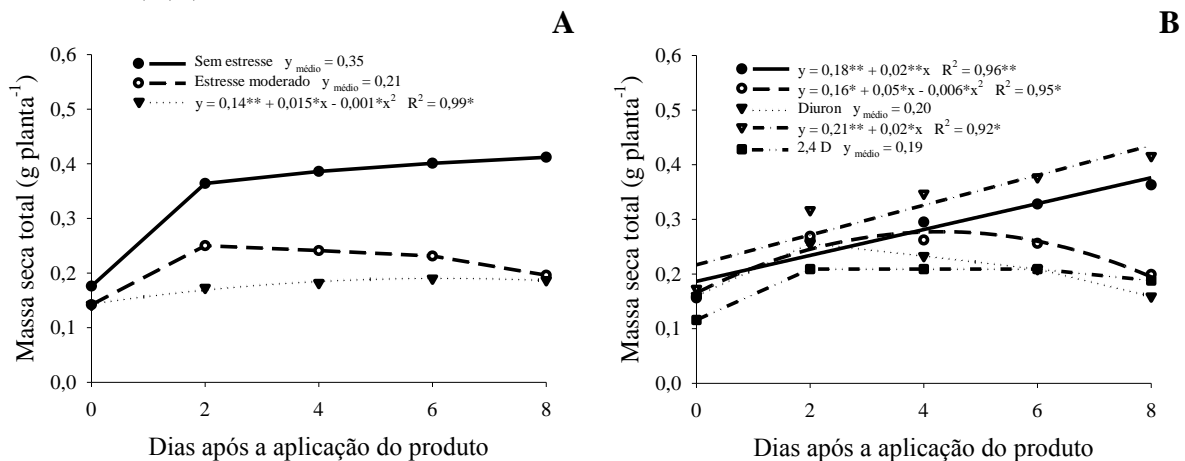
A massa seca total de planta representa o seu potencial de formação de fitomassa vegetal, sendo que quanto maior seu valor absoluto, maior também será a eficiência do vegetal em transformar energia luminosa em fotoassimilados (NASCIMENTO et al., 2012).

Verificou-se contrastes significativos ($P < 0,05$) para resposta da interação entre as fontes de variação qualitativas em cada tempo, a partir do segundo dia após aplicação (Tabela 4). Para o tratamento de ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com os herbicidas glifosate (4, 6 e 8), diuron (6 e 8) e 2,4 D (8 DAA) apresentaram médias de massa seca total inferiores a média do controle (planta tratadas com água), implicando em maior efeito desses herbicidas. Para o tratamento estresse moderado, plantas tratadas com o herbicida nicosulfuron apresentaram média de massa seca total semelhante a do controle (planta

tratadas com água), até 4 DAA. Esse comportamento se repetiu em todos os tempos estudados no tratamento estresse severo.

Para o desdobramento das interações duplas entre os fatores de efeito fixo (condições hídricas e produtos aplicados) e o de efeito aleatório (dias após a aplicação), foi realizado o ajuste de função-resposta. Para as condições hídricas de estresse severo, observou-se comportamento crescente até o oitavo dia após a aplicação, chegando ao valor máximo de $0,19 \text{ g planta}^{-1}$, proporcionando um aumento de 26,3% na massa seca total das plantas. Esse valor foi inferior ao observado no oitavo dia em condições hídricas sem estresse, que foi de $0,40 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 2A).

Figura 2. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos na massa seca total de plantas de *Amaranthus deflexus* L. (● — sem estresse; ○ — estresse moderado; ▼ estresse severo) (A). Efeito dos produtos na massa seca total em função dos dias após à sua aplicação (● — água; ○ — glifosate; ▼ diuron; ▼ --- nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Para MST, verificou-se ajuste de função-resposta para plantas tratadas com água e com o herbicida nicosulfuron. O ganho de matéria seca total observado até o oitavo dia após a aplicação foi de 0,36 até $0,42 \text{ g planta}^{-1}$, com incremento percentual de 55,5 e 59,5% em relação à massa seca total registrada nas plantas de caruru antes da aplicação do produto (Figura 2B).

Influência semelhante foi observada sobre a altura das plantas de caruru rasteiro, de forma que foram verificados contrastes significativos ($P < 0,05$) entre os fatores qualitativos, em cada tempo de avaliação, a partir do segundo dia após aplicação (Tabela 5).

Tabela 5. Médias estimadas pelo método de modelo misto para altura de plantas (cm) de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos				
	0	2	4	6	8
Sem Estresse					
Água	16,0	17,3	18,4	19,4	19,0
Glifosate	16,7 ^{ns}	17,7 ^{ns}	17,6 ^{ns}	17,5*	15,4*
Diuron	15,1 ^{ns}	18,8*	18,4 ^{ns}	18,0*	17,6*
Nicosulfuron	15,8 ^{ns}	17,7 ^{ns}	18,4 ^{ns}	19,1 ^{ns}	19,4 ^{ns}
2,4 D	16,8 ^{ns}	18,4*	18,4 ^{ns}	18,4*	18,1 ^{ns}
Estresse Moderado					
Água	18,2	17,2	16,8	16,4	16,7
Glifosate	18,1 ^{ns}	18,5*	18,0*	17,5*	17,6 ^{ns}
Diuron	18,0 ^{ns}	18,5 ^{ns}	18,1*	17,8*	17,9*
Nicosulfuron	18,1 ^{ns}	18,1 ^{ns}	17,5 ^{ns}	16,9 ^{ns}	17,3 ^{ns}
2,4 D	18,1 ^{ns}	17,8 ^{ns}	18,4*	18,9*	17,2 ^{ns}
Estresse Severo					
Água	19,2	17,5	17,8	18,0	18,3
Glifosate	19, ^{ns}	17,7 ^{ns}	17,8 ^{ns}	18,0 ^{ns}	18,6 ^{ns}
Diuron	18,4 ^{ns}	17,4 ^{ns}	17,2 ^{ns}	17,1 ^{ns}	17,8 ^{ns}
Nicosulfuron	18,5 ^{ns}	17,3 ^{ns}	17,2 ^{ns}	17,1 ^{ns}	17,9 ^{ns}
2,4 D	18,2 ^{ns}	16,6 ^{ns}	16,6*	16,6*	17,5 ^{ns}

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

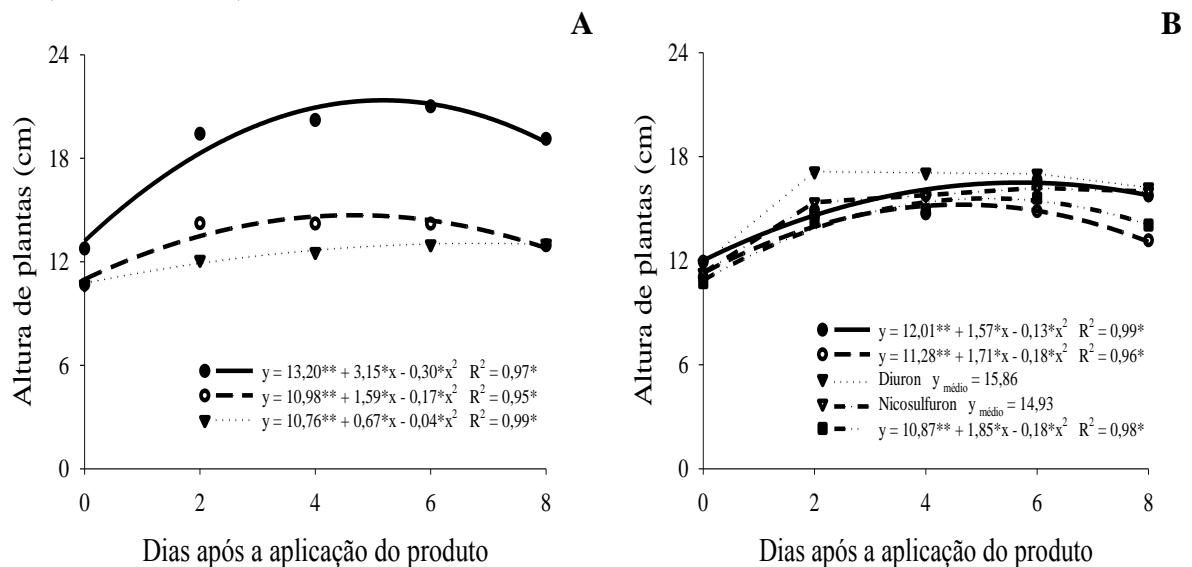
Fonte: Elaboração do autor.

Para o tratamento de ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com o herbicida nicosulfuron apresentaram, em média, altura semelhante a do controle (plantas tratadas com água) em todos os tempos estudados, divergindo do observado para os demais produtos. Esse comportamento se repetiu nos demais níveis de estresse testados.

O mecanismo de ação do herbicida nicosulfuron consiste na inibição e ação da acetolactase sintase (ALS), também chamada de acetohydroxyacid synthase (AHAS), enzima chave na biossíntese dos aminoácidos isoleucina e valina. Apesar de interromper a divisão celular em plantas susceptíveis, cerca de duas horas após a sua aplicação, e, posteriormente, a síntese protéica, que por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular, a altura de planta não foi alterada nos primeiros 8 DAA, corroborando com Vitorino (2011), em que relata que a paralisação do crescimento e desenvolvimento de clorose internerval ocorre apenas dentro de 7 a 10 DAA do herbicida.

Em todas as condições hídricas, foi observada tendência crescente da curva de resposta até o sexto dia após a aplicação, para ausência de estresse e estresse moderado, com valores máximos de 21 e 14,2 cm, seguida de comportamento decrescente, respectivamente, da ordem de 8,9 e 8,8% até o último dia. No estresse severo, observou-se sensível tendência de aumento na altura das plantas de caruru rasteiro até o oitavo dia após a aplicação, com incremento de apenas 18% em relação aos valores observados antes da aplicação (Figura 3A). Esse resultado era esperado, pois a redução do crescimento e, conseqüentemente, da altura de plantas é apontada como um dos principais sintomas do estresse hídrico (RITCHIE, 1975). Tal comportamento também foi observado por Barreto et al. (2001) em *Pennisetum purpureum Schum.*

Figura 3. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos na altura de plantas de *Amaranthus deflexus* L. (●— sem estresse; ○-- estresse moderado; ▼..... estresse severo) (A). Efeito dos produtos na altura em função dos dias após à sua aplicação (●— água; ○-- glifosate; ▼..... diuron; ▼--- nicosulfuron; ■---- 2,4 D) (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Desdobrando o efeito aleatório da interação entre produtos e dias após a aplicação, verificou-se aumento de altura de plantas até o sexto dia após a aplicação, nas quais as maiores observadas foram 16,7; 14,9 e 15,6 cm, respectivamente, decrescendo em seguida até o oitavo dia após a aplicação (Figura 3B).

A variável diâmetro do caule foi a menos influenciada pelo efeito do tratamento da interação. Contudo, verificou-se contrastes significativos ($P < 0,05$) no dia anterior e no oitavo dia de avaliação após a aplicação (Tabela 6).

Tabela 6. Médias estimadas pelo método de modelo misto para diâmetro do caule (cm) de plantas de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos				
	0	2	4	6	8
Sem Estresse					
Água	2,1	2,3	2,3	2,3	2,5
Glifosate	2,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,9*
Diuron	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,8*
Nicosulfuron	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,5 ^{ns}
2,4 D	3,2*	2,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	2,2 ^{ns}
Estresse Moderado					
Água	2,1	2,2	2,3 ^{ns}	2,1	2,1
Glifosate	2,3 ^{ns}	2,5 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}
Diuron	2,3 ^{ns}	2,4 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}
Nicosulfuron	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}
2,4 D	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,0 ^{ns}
Estresse Severo					
Água	2,3	2,1	2,1	2,2	2,3
Glifosate	2,4 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}
Diuron	2,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}
Nicosulfuron	2,1 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}	2,2 ^{ns}
2,4 D	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

Para a condição de ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com o herbicida 2,4 D apresentaram maior média, distinguindo-se das demais no primeiro dia de avaliação. No oitavo dia, plantas tratadas com os herbicidas glifosate e diuron apresentaram, em média, os menores diâmetros em relação às plantas tratadas com os demais produtos, de forma que foi observada maior severidade na ação destes produtos.

O caráter diâmetro de caule é de grande importância para a arquitetura das plantas, visto que caules mais espessos e rígidos podem evitar o acamamento, bem como em plantas daninhas são características de espécies mais competidoras. Todavia, sob estresses abióticos, estes podem apresentar desequilíbrio energético, o qual pode resultar em alongamento e/ou redução e, conseqüentemente, no acúmulo de biomassa na parte aérea e radicular (AFIFI; SWANTON, 2012).

O conteúdo hídrico foliar das plantas, medido pelo CRA, sofreu influência de todos os tratamentos qualitativos, de forma que verificou-se contrastes significativos para resposta da interação em todos os dias de avaliação (Tabela 7).

Tabela 7. Médias estimadas pelo método de modelo misto para conteúdo relativo de água (%) de plantas de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos				
	0	2	4	6	8
Sem Estresse					
Água	77,1	75,2	75,5	79,2	78,3
Glifosate	75,3 ^{ns}	70,5*	68,8*	70,6*	73*
Diuron	74,3 ^{ns}	75,2 ^{ns}	76,1 ^{ns}	80,5 ^{ns}	81,6 ^{ns}
Nicosulfuron	80,8 ^{ns}	78,3 ^{ns}	78,6 ^{ns}	85,2*	82,4 ^{ns}
2,4 D	82,3b*	82,7*	80,3*	81,2 ^{ns}	76,3 ^{ns}
Estresse Moderado					
Água	78,4	79,9	79	79,3	79,1
Glifosate	87,3*	88,2*	88*	70,2*	71,3*
Diuron	79,6 ^{ns}	79,3 ^{ns}	79,3 ^{ns}	75,1 ^{ns}	75 ^{ns}
Nicosulfuron	76,8 ^{ns}	76,5 ^{ns}	75,1 ^{ns}	66,9*	65*
2,4 D	81,4 ^{ns}	82,7*	82,8 ^{ns}	73,9*	66,8*
Estresse Severo					
Água	75	75,3	75,3	77,5	78,6
Glifosate	78,7 ^{ns}	78,2 ^{ns}	78,2 ^{ns}	81,5 ^{ns}	82,8 ^{ns}
Diuron	70*	72 ^{ns}	72 ^{ns}	85,6*	88,8*
Nicosulfuron	78,2*	81,2*	81,2*	77,9 ^{ns}	77,3 ^{ns}
2,4 D	72,2 ^{ns}	74,4 ^{ns}	74,4	73,4 ^{ns}	79,4 ^{ns}

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

Na ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com o herbicida glifosate apresentaram, em média, menor CRA, contrastando do resultado observado com a aplicação dos outros produtos a partir do segundo dia após aplicação. Comportamento semelhante foi observado no tratamento estresse moderado, com as plantas tratadas com os herbicidas glifosate, nicosulfuron e 2,4 D aos seis e oito dias após a aplicação.

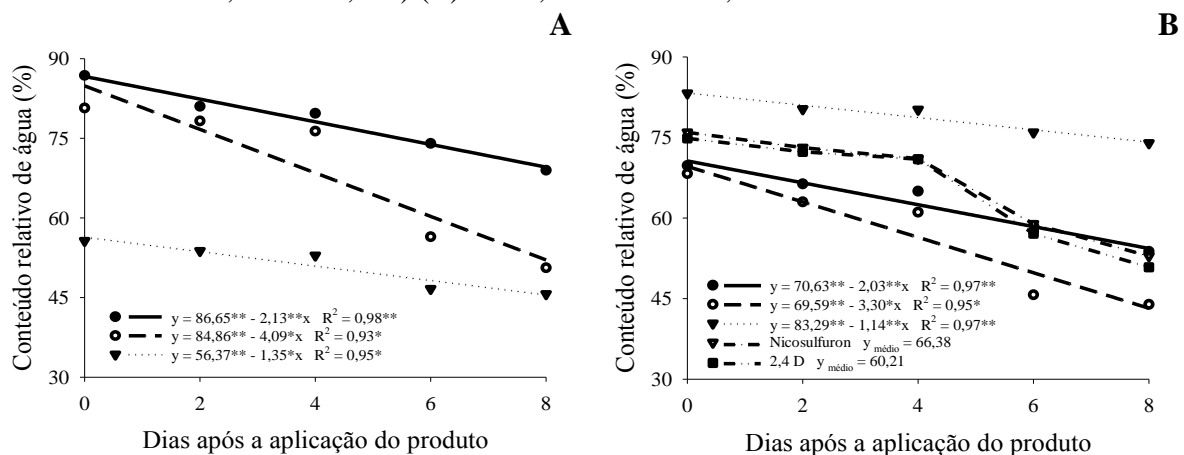
O CRA é a quantidade hídrica encontrada em um tecido comparado com o máximo que ele poderia ter, pela ocupação de todos os espaços aéreos das folhas. Por sua vez, esse resultado sugere que o baixo conteúdo hídrico foliar apresentado pelas plantas tratadas nesses respectivos tratamentos, implica em severa ação dos herbicidas. Logo, a eficácia desses

herbicidas, possivelmente, está associada à disponibilidade de água no solo, diferentemente do tratamento estresse severo, no qual a planta daninha está se desenvolvendo, influenciando na sua absorção, translocação e metabolismo (ABBOTT; STERLING, 2006).

De maneira geral, no tratamento estresse severo, plantas tratadas com o herbicida nicosulfuron aos segundo e quarto dia, bem como com diuron aos sexto e oitavo dia após a aplicação, obtiveram menor impacto no conteúdo hídrico foliar, corroborando do observado por Peregoy et al., (1990). Estes autores relatam que o comportamento do herbicida na planta, associado a estresses impostos pelo ambiente, podem ocasionar mudanças morfológicas, onde a cutícula das folhas desidrata, reduzindo a absorção de herbicidas e resultando em possível menor fitotoxicidade à cultura, reduzindo, assim, a eficiência do herbicida no controle da planta daninha.

Para todas as condições hídricas, foi observada redução significativa no conteúdo hídrico foliar das plantas, decrescendo linearmente até o oitavo dia após a aplicação, até os valores mínimos de 68,9; 50,6 e 45,6%. A proporção da redução do conteúdo relativo de água na parte aérea das plantas de caruru rasteiro, na ausência de estresse, com estresse moderado e severo foi de 20,5; 37,2 e 18,0%, respectivamente (Figura 4 A).

Figura 4. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação dos produtos no conteúdo relativo de água em plantas de *Amaranthus deflexus* L. (● — sem estresse; ● — — estresse moderado; ▼ estresse severo) (A). Efeito dos produtos no conteúdo relativo de água em função dos dias após à sua aplicação. (● — água; ● — — glifosate; ▼ diuron; ▼ --- nicosulfuron; ■ ---- 2,4 D) (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Nas plantas tratadas com água e com os herbicidas glifosate e diuron, foi verificada tendência linear de redução do conteúdo de água até o oitavo dia após a aplicação. Os menores CRA observados foram de 53,7; 43,9 e 73,9%, com redução na proporção de 22,9; 35,7 e 11,1%, respectivamente, em relação aos valores obtidos antes da aplicação do produto.

Embora não tenha ocorrido ajuste de função resposta para as plantas tratadas com os herbicidas nicosulfuron e 2,4 D, foi observado comportamento semelhante aos demais produtos, com tendência de redução de conteúdos hídricos foliares da parte aérea, chegando a valores médios de 66 e 60%, respectivamente, ao longo dos dias após a aplicação (Figura 4B).

Nesse caso, as plantas de caruru podem ter apresentado como estratégia de tolerância aos estresses abióticos (déficit hídrico e herbicidas), o “evitamento” (LEVITT, 1972), que se caracteriza durante a atuação do déficit hídrico na manutenção do conteúdo relativo de água (CRA) nos tecidos, na tentativa de evitar a desidratação (LAWN; LIKOSWE, 2008).

Corroborando do observado no CRA, o conteúdo relativo de clorofila total sofreu influência de todos os fatores qualitativos (Tabela 8).

Tabela 8. Médias estimadas pelo método de modelo misto para clorofila total de plantas de *Amaranthus deflexus* L. em função dos níveis de condições hídricas, produtos e dias após a aplicação.

Produtos	Dias após a aplicação dos produtos				
	0	2	4	6	8
Sem Estresse					
Água	31,0	32,0	32,9	33,4 ^{ns}	33,6
Glifosate	32,8 ^{ns}	32,9 ^{ns}	32,0 ^{ns}	31,2*	27,2*
Diuron	34,6*	34,6*	33,7 ^{ns}	32,6 ^{ns}	30,1*
Nicosulfuron	30,9 ^{ns}	32,0 ^{ns}	32,6 ^{ns}	33,1 ^{ns}	33,2 ^{ns}
2,4 D	32,6 ^{ns}	31,5 ^{ns}	31,8 ^{ns}	31,8 ^{ns}	31,9 ^{ns}
Estresse Moderado					
Água	30,8	31,8 ^{ns}	33,0	32,8	33,1
Glifosate	33,3*	31,8 ^{ns}	33,7 ^{ns}	33,6 ^{ns}	34,0 ^{ns}
Diuron	33,6*	31,4 ^{ns}	30,9*	30,4*	28,3*
Nicosulfuron	30,8 ^{ns}	31,5 ^{ns}	32,5 ^{ns}	33,3 ^{ns}	34,6 ^{ns}
2,4 D	31,3 ^{ns}	31,6 ^{ns}	31,8 ^{ns}	31,8 ^{ns}	32,5 ^{ns}
Estresse Severo					
Água	31,2	31,6	31,7	31,9	33,0
Glifosate	30,6 ^{ns}	31,9 ^{ns}	32,1 ^{ns}	32,1 ^{ns}	32,4 ^{ns}
Diuron	34,4*	32,8 ^{ns}	32,0 ^{ns}	31,5 ^{ns}	32,7 ^{ns}
Nicosulfuron	32,4 ^{ns}	31,8 ^{ns}	31,3 ^{ns}	31,6 ^{ns}	32,0 ^{ns}
2,4 D	35,0*	33,7*	31,8 ^{ns}	31,7 ^{ns}	32,7 ^{ns}

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

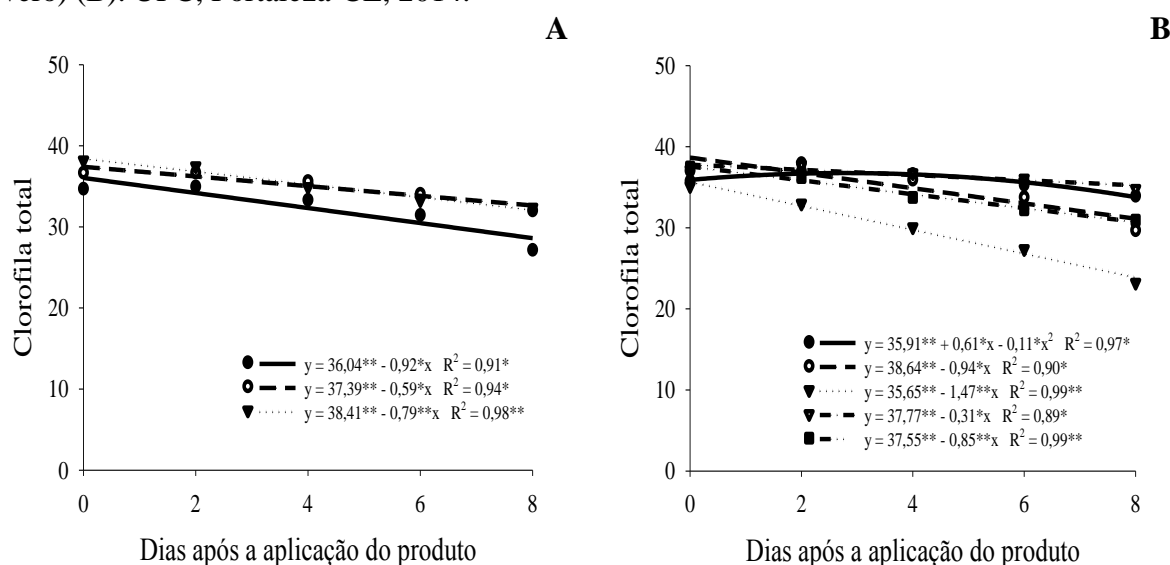
Fonte: Elaboração do autor.

As plantas tratadas com o herbicida diuron apresentaram maior CLT médio, quando comparados ao controle (plantas tratadas com água), até os dois dias após a aplicação, divergindo do observado para os demais produtos. Em contraste, plantas tratadas com os herbicidas glifosate (6 e 8 DAA) e diuron (8 DAA) obtiveram menor média.

No tratamento estresse moderado, plantas tratadas com os herbicidas glifosate e diuron apresentaram maior média de CLT no tempo zero, ou seja, no dia anterior a aplicação. Comportamento contrário foi apresentado pelas plantas tratadas com o herbicida diuron aos quatro, seis e oito dias após aplicação, que obtiveram maiores conteúdos de CLT em relação ao tratamento controle.

Para todas as condições hídricas, foi observada redução significativa no conteúdo de clorofila total das plantas de caruru rasteiro, decrescendo linearmente até o oitavo dia. Os valores mínimos observados foram da ordem de 21,7; 12,7 e 15,2% em relação à primeira avaliação, na ausência de estresse, estresse moderado e severo, respectivamente (Figura 5A).

Figura 5. Efeito das condições hídricas em função dos dias após a aplicação na clorofila total em plantas de *Amaranthus deflexus* L. (● — Água; ○ — Glifosate; ▼ Diuron; ▼ --- Nicosulfuron; ■ --- 2,4 D) (A). Efeito dos produtos na clorofila total em função dos dias após a sua aplicação (● — sem estresse; ○ — estresse moderado; ▼ estresse severo) (B). UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

A degradação da clorofila é uma das consequências da deficiência hídrica, que resulta na perda da cor verde das folhas (LONG et al., 1994). Verificou-se comportamento linear decrescente até o oitavo dia após a aplicação, nas quais foram observados os menores índices de CLT, da ordem de 5,0; 19,8; 33,9; 6,3 e 17,5%, em relação à primeira avaliação, para os produtos água, glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D, respectivamente (Figura 5B).

A leitura (unidade SPAD) corresponde ao teor de pigmento na folha, e seu valor é equivalente à quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda, nas quais a absorção de clorofila é diferente (MALAVOLTA et al., 1997). Dessa maneira, o valor fornecido é proporcional à quantidade de clorofila existente na folha. Neste

caso, a deficiência hídrica, associada à aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação, foi também responsável pela diminuição dos pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida das plantas fosse alterado.

4 CONCLUSÕES

1. Houve redução na magnitude dos caracteres quantitativos de crescimento das plantas de *A. deflexus*, em função da aplicação de herbicidas associados às condições de estresse hídrico;
2. Para a variação aleatória resultante do efeito aninhado do tempo nas subparcelas, foi verificada tendência de decrescimento dos caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa seca total, teor de clorofila total e conteúdo relativo de água, bem como, aumento de fitotoxicação das plantas daninhas até o oitavo dias após aplicação dos herbicidas, com o aumento do comprimento dos subintervalos de avaliação.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, L. B.; STERLING, T. M. Recovery of African rue seedlings from water stress: Implications for recruitment and invasion. African rue (*Peganum harmala*) seedling response to herbicides applied under water-deficit stress. **Weed Science**, Lawrence, v. 54, p. 198-204, 2006.

AFIFI, M.; SWANTON, C. Early physiological mechanisms of weed competition. **Weed Science**, Lawrence, v. 60, n. 4, p. 542-551, 2012.

AKAIKE, H. Factor-analysis and AIC. *Psychometrika*, v.52, n.3, p.317-332, 1987. ANDERSON, D. D. et al. Mechanism of primisulfuron resistance in a shattercane (*Sorghum bicolor*) biotype. **Weed Science**, Lawrence, v. 46, n. 1, p. 158-162, 1998

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo especial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 245-252, 2005.

BARRETO, G. P.; ANDRADE LIRA, M.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. Avaliação de Clones de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um Híbrido com o Milheto *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. Submetidos a Estresse Hídrico. 1. Parâmetros Morfológicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, P. 1-6, 2001.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento e desenvolvimento de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.317-326, 2008.

CATSKY, J. Determination of water deficits in disc cut out from leaf blades. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 2, p. 929- 938, 1960.

GBUR, E.; STROUP, W.; McCARTER, K.; DURHAM, L.; YOUNG, M. **Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Sciences**. Madison. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America and Crop Science Society of America. 283 p, 2012.

KARAM, D.; SILVA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F. **Nicosulfuron aplicado sobre cultivares de *Brachiaria* e *Panicum* em dois estádios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 147).

KIPPER, E.M.; ASSIS, J. H. F.; SILVA, U.R.; TIMOSSI, P. C. **Curva de dose resposta de nicosulfuron no controle de capim-custódio**. In: Congresso Brasileiro das Ciências das Plantas Daninhas, n°28, Campo Grande, Resumo, 2012, p. 377-380.

LAWN, R. J.; LIKOSWE, A. A. Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from water stress in soybean. **Australian Journal of Agricultural Research**, Adelaide, v.59, p.1075-1085, 2008.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, 1972, 698p.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 45, p. 633-662, 1994.

LUCCHESI, A. A. **Utilização prática de análise de crescimento vegetal**. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, v. 41, n. 1, p. 181-202, 1984.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismo de ação e uso**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2008. 34 p. (Documentos, 227).

NASCIMENTO, A. K. S.; FERNANDES, P. D.; SUASSUNA, J. F.; OLIVEIRA, A. C. M.; SOUSA, M. S. S.; AZEVEDO, J. G. N. Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 438 - 452, 2012.

PEREGOY, R. S; KITCHEN, L. M; JORDAN, P.W.; GRIFFIN, J. L. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis* **Weed Science**, Lawrence, v. 38, n. 4-5, p. 331-337, 1990.

R CORE TEAM (2014). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M. C. F. Efeito do teor de umidade do solo na seletividade e na eficácia de carfentrazone-ethyl no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**. Passo Fundo, v. 2, n. 5, p. 114-122, 2005.

RITCHIE, J. T. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. In: STONE, J.F. (Ed.) **Plant modification for more efficient water use**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company. p.183-198, 1975.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Avaliação genética e análise de deviance em um teste desbalanceado de procedência e progênie de *Ilex paraguariensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 157-160, 2010.

VITORINO, H. S.. **Eficiência de herbicidas inibidores da ALS e PROTOX sob condições de déficit hídrico no comportamento bioquímico de plantas daninhas**. 2011. viii, 78 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2011.

VITORINO, H. S; MARTINS, D; MARQUES, R. P; GARBIATE, M. V. Efeito do déficit hídrico na eficiência de herbicidas e nas características bioquímicas de picão-preto. **Bioscience Journal**,Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 692-698, 2012.

CAPÍTULO IV

**EFEITO DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE DE ANTIOXIDANTES ENZIMÁTICOS
EM PLANTAS DE *Amaranthus deflexus* SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS**

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de herbicidas, aplicados em pós-emergência, em plantas de *Amaranthus deflexus* L. sobre a atividade de enzimas antioxidantes, submetidas a diversas condições hídricas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial duplo e com avaliações realizadas ao tempo. A análise de variância foi realizada utilizando a metodologia de modelos mistos e com o efeito do tempo considerado de natureza aleatória. Para a análise da atividade enzimática catalase, dismutase do superóxido, peroxidase do ascorbato e peroxidase do guaiacol, as plantas daninhas foram submetidas a três fatores: produtos (água, glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D, aplicadas nas parcelas), condições hídricas (solo com 100%, 60% e 30% da capacidade da bandeja, aplicadas nas parcelas) e horas após a aplicação do produto (24, 48 e 72 horas, aninhado nas subparcelas), totalizando 45 combinações. Ao final do estudo, foi verificada redução das atividades dos sistemas enzimáticos antioxidante nas plantas de *A. deflexus*, em função da aplicação de herbicidas associados às condições de estresse hídrico. Maiores atividades das enzimas antioxidativas nesta espécie foram observadas em até 48 horas após a aplicação dos produtos.

Palavras-chave: Caruru rasteiro. Déficit hídrico. Atividade antioxidativa enzimática. Reações metabólicas. Modelos mistos.

ABSTRAT

This research aims to evaluate the effect of herbicides sprayed after emergence of *Amaranthus deflexus* L. plants on activity of antioxidant enzymes subjected to different hydric conditions. It was used a completely randomized design with double factorial and subplots split over the time. The analysis of variance was done using the mixed model methodology. It was analyzed the enzymatic activity of catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase. The weed was subjected to: (i) three products (water, glyphosate, diuron, nicosulfuron and 2.4 D), (ii) hydric conditions (100, 60 and 30% of field capacity) and (iii) time (24, 48, and 72 hours) after the application of the products in a total of 45 combinations. There was a reduction in the activity of the antioxidant enzymatic system in *A. deflexus* seeds as a function of the application of herbicides in association with different hydric conditions. Larger activities of the antioxidative enzymes in this species were observed within 48 hours after application of the products.

Palavras-chave: Caruru rasteiro. Water deficit. Enzymatic antioxidative activity. Metabolic reactions. Mixed models.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Amaranthus deflexus* L. popularmente conhecida como caruru rasteiro, ocorre espontaneamente em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das mais importantes plantas daninhas na América do Sul. Essa planta é encontrada em praticamente todo o território brasileiro, causando grandes reduções de produtividade nas áreas agrícolas, quando não controlada. Um dos possíveis manejos dessa espécie é o controle químico, que tem sido usado prioritariamente com a finalidade de reduzir o desenvolvimento da planta ou mesmo eliminá-la.

A eficácia de um herbicida depende de diversos fatores, dentre os quais, suas características físico-químicas e a dose aplicada, a espécie a ser controlada e seu estágio de desenvolvimento, as técnicas de aplicação, bem como as condições ambientais prevalentes durante e após a aplicação (VICTORIA FILHO, 1985; PROCÓPIO et al., 2003). A umidade do solo também é um fator importante, pois a eficácia do herbicida tende a ser alterada quando ele é aplicado em solo sob déficit hídrico, o qual, por sua vez, pode induzir estresse oxidativo à planta, com consequente desequilíbrio entre a produção e a remoção das espécies reativas de oxigênio (ERO).

As principais ERO são o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e os radicais livres superóxido (O_2^-) e hidroxil (OH^\cdot). Por serem bastante instáveis, as ERO são altamente reativas; dessa forma, o acúmulo dessas substâncias nas células vegetais é tóxico, por causar danos oxidativos a proteínas, ácidos nucleicos e lipídios de membrana (RIBEIRO et al., 2005; NASCIMENTO; BARRIGOSI, 2014).

Existem diversas enzimas antioxidativas que atuam na remoção das ERO, como a dismutase do superóxido (SOD), a catalase (CAT), a peroxidase do ascorbato (APX) e a peroxidase do guaiacol (GPX), entre outras (MITTLER, 2002). Alterações na atividade dessas enzimas têm sido relatadas entre as primeiras respostas de plantas ao efeito do estresse hídrico (CARNEIRO et al, 2011; PEREIRA et al, 2012).

Apesar dos avanços nos estudos com plantas daninhas, pesquisas envolvendo alterações fisiológicas e bioquímicas promovidas pelos estresses hídrico e oxidativo, bem como interação deles com o efeito de herbicidas de pós-emergência são extremamente limitadas. No sentido prático tais abordagens são de grande relevância, pois caracterizam as reações de causa-efeito metabólico que ocorrem em nível de campo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de herbicidas inibidores da ALS, FS II, EPSPs e

AUXINA, aplicados em pós-emergência em plantas de *A. deflexus*, na atividade de enzimas antioxidantes submetidas a diversas condições de estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, localizada no Setor de Agricultura do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza-CE, cujas coordenadas geográficas são 03°43'02'' S e 38°32'35'' O, com altitude de 21 m. A configuração de ambiente protegido foi obtida utilizando uma cobertura com filme plástico difusor de 100 µm e sombrite 30%, para redução da temperatura interna do ambiente.

As sementes de *A. deflexus* L. foram semeadas a lanço em bandejas de 8 L, contendo uma mistura de areia lavada, esterco bovino e pó de coco, na proporção 2:1:1, sendo irrigadas após a semeadura, para garantir a germinação e posterior desenvolvimento das plantas daninhas. No início da emergência, foi realizado desbaste, obtendo estande final de 50 plantas por bandeja.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial duplo (5 × 3), com quatro repetições cada. O primeiro fator correspondeu a cinco produtos (glifosate, diuron, nicosulfuron, 2,4-D e água) e o segundo, a três condições hídricas (sem déficit hídrico, déficit hídrico moderado e déficit hídrico severo), totalizando 15 tratamentos. Subamostras foram avaliadas ao longo do tempo, de forma que este foi considerado como fator de natureza aleatória no modelo matemático. Três subintervalos de tempo [24, 48 e 72 horas após aplicação (HAA) dos produtos] foram avaliados, como efeito aleatório aninhado nas subparcelas.

Os produtos formulados utilizados foram glifosate 360 g L⁻¹ (1,5 L ha⁻¹), diuron 200 g L⁻¹ (1,5 L ha⁻¹), nicosulfuron 250 g L⁻¹ (1,0 L ha⁻¹) e 2,4-D amine 670 g L⁻¹ (1,0 L ha⁻¹), tendo água como testemunha. Os herbicidas foram utilizados na dose intermediária, de acordo com a recomendação da bula, para o controle químico da planta daninha estudada.

A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas daninhas apresentaram três pares de folhas definitivas. Os tratamentos químicos foram aplicados utilizando-se um pulverizador costal manual, equipado com um reservatório de 20 L, com ponta de pulverização do tipo jato plano “Teejet” XR 11002 VS. O equipamento foi calibrado para proporcionar um consumo de calda de 200 L ha⁻¹.

Determinou-se a umidade gravimétrica do solo, realizada com a pesagem do recipiente (bandeja) após a saturação da mesma. A estimativa da capacidade do recipiente (bandeja) foi realizada utilizando a expressão $CR = \left[100 \left(\frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \right] ds$; onde: CR é a

capacidade do recipiente (bandeja) (%); P_u é o peso da amostra de substrato úmido (g); P_s é o peso da amostra de substrato seco (g); d_s é a densidade do substrato (g cm^{-3}). Após o cálculo da capacidade da bandeja utilizou-se à curva de retenção do solo para determinar a condição hídrica utilizada no experimento.

A partir do cálculo da capacidade do recipiente foram determinadas as condições hídricas utilizadas no experimento: a) sem déficit hídrico: capacidade do recipiente, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 100%; b) déficit hídrico moderado, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 60%; e c) déficit hídrico severo, no qual a umidade do substrato se encontra num percentual correspondente a 30%.

Para a análise enzimática e de peroxidação de lipídeos, foram coletadas duas plantas de cada bandeja em 24, 48 e 72 HAA, sendo divididas em parte aérea e raízes, imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas a $-25\text{ }^\circ\text{C}$, até posterior utilização. Todo o material foi liofilizado, e após esse processo, foi macerado em almofariz até obtenção de um pó, com auxílio de nitrogênio líquido.

O extrato utilizado na determinação do malondialdeído foi obtido após pulverização de 0,1 g ou 0,05 g do pó liofilizado da parte aérea e raízes, respectivamente, com nitrogênio líquido, seguida por maceração, a $4\text{ }^\circ\text{C}$, com ácido tricloroacético (TCA, do inglês *Trichloroacetic acid*) a 5%. Logo após, o homogeneizado foi centrifugado a $12.000 \times g$, por 20 min, a $4\text{ }^\circ\text{C}$, e o sobrenadante, imediatamente utilizado nas análises referidas (HEATH; PACKER, 1968).

Os extratos enzimáticos foram obtidos a partir da homogeneização de 0,1 g do material fresco da parte aérea e raízes em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio a 0,1 M (pH 7,0), contendo EDTA a 0,1 mM, durante 4 minutos. Após esse tempo, o homogenato foi filtrado em tecido de náilon de malha fina, agitado e posteriormente centrifugado a $12.000 \times g$, por 15 min, a $4\text{ }^\circ\text{C}$. O sobrenadante obtido (extrato enzimático bruto) foi armazenado em freezer a $-25\text{ }^\circ\text{C}$, até sua utilização.

A peroxidação de lipídios foi determinada de acordo com o método proposto por Heath e Packer (1968), através da medida da quantidade de malondialdeído (MDA) produzido pela reação do ácido tiobarbitúrico. O extrato foi misturado com igual volume de uma solução de ácido tiobarbitúrico 0,5% (p/v), preparada em ácido tricloroacético a 20% (p/v). A mistura foi aquecida a $95\text{ }^\circ\text{C}$, por 30 min, resfriado em banho de gelo e centrifugada a $3.000 \times g$, por 10 min. A absorbância do sobrenadante foi medida a 532 e 600 nm. Após a subtração da absorbância não específica (600nm) da específica (532 nm), a concentração de MDA foi

determinada usando-se seu coeficiente de extinção molar ($155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$.

A CAT (E.C 1.11.1.6) teve sua atividade medida de acordo com o método de Beers Jr. e Sizer (1952), através do decréscimo da absorbância em 240 nm, devido ao consumo de H_2O_2 , e usando seu coeficiente de extinção molar ($\epsilon = 36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). A atividade da SOD (E.C. 1.15.1.1) foi determinada pela medição de sua habilidade de inibir a redução fotoquímica do azul de p-nitrotetrazólio (NBT), conforme descrito por Giannopolitis e Ries (1977). Por definição, uma unidade (U) de SOD foi definida como a quantidade de enzima requerida para inibir 50% na taxa de fotorredução do NBT.

A atividade da APX (E.C. 1.11.1.1) foi avaliada de acordo com Nakano e Asada (1981), mediante o acompanhamento da oxidação do ascorbato, através da redução da absorbância em 290 nm, levando-se em consideração seu coeficiente de extinção molar ($\epsilon = 0,0028 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e a estequiometria da reação (2 moles de ascorbato para 1 mol de H_2O_2). Por fim, a atividade da GPX (E.C. 1.11.1.7) foi determinada como descrito por Urbanek et al. (1991), monitorando-se o aumento de absorbância a 470 nm, considerando-se o coeficiente de extinção molar do tetraguaiacol ($26,6 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e a estequiometria da reação (4 moles de H_2O_2 para 1 mol de tetraguaiacol).

Para análise estatística, foi definida a natureza dos efeitos do modelo que atuam sobre cada variável resposta (y_{ij}). Os fatores considerados como de efeitos fixos foram os produtos (água e herbicidas) e níveis de condições hídricas. O fator horas para análise de subamostras após a aplicação dos herbicidas (tempo) foi considerado de efeito aleatório.

O processamento de dados foi realizado utilizando a metodologia de modelos lineares mistos, utilizando o pacote lme4 do programa R (R CORE TEAM, 2015). Foi realizada análise de deviance aplicando o teste da razão de verossimilhança (LRT), para os efeitos aleatórios do modelo (STURION; RESENDE, 2010) e selecionado o modelo linear mais responsivo para predição das médias.

Os modelos foram testados para verificação do efeito das interações de efeito aleatório. Os modelos testados foram, respectivamente, m1 (sem efeito de interação): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_{(i)} + \beta_{(j)} + \gamma_{(k)} + \varepsilon_{ijkl}]$; m2 (somente interações duplas): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + S_{il} + \varepsilon_{ijkl}]$; m3 (somente interação tripla): $[Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + S_{il} + R_{jl} + \varepsilon_{ijkl}]$ e m4 (interações duplas e triplas): $Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + S_{il} + \varepsilon_{ijkl}$, onde: Y_{ijkl} é o valor observado no i -ésimo nível do fator A (níveis

de estresse), em combinação com o j -ésimo nível do fator B (herbicidas), com o k -ésimo nível do fator C (tempos para análise de subparcelas), na l -ésima parcela; μ – é a média geral, comum a todas as observações; α_i é o efeito do nível i ($i = 1, 2, \dots, a$) do fator A, alocado na parcela; β_j é o efeito do nível j ($j = 1, 2, \dots, b$) do fator B, alocado na parcela; e γ_k é o efeito do nível k ($k = 1, 2, \dots, c$) do fator C, alocado na subparcela; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A com o j -ésimo nível do fator B; $(\alpha\gamma)_{ik}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A com o k -ésimo nível do fator C; $(\beta\gamma)_{jk}$ é o efeito da interação do j -ésimo nível do fator B com o k -ésimo nível do fator C; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do fator A, j -ésimo nível do fator B e k -ésimo nível do fator C; S_{il} é o efeito da l -ésima parcela recebendo o i -ésimo nível do fator A $N(0, \sigma^2)$ erro a ; ε_{ijkl} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijkl} , tal que $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$, erro b .

Sugerido o modelo, utilizando o método de máxima verossimilhança, foi aplicado o teste F da análise de variância (anava) para os efeitos fixos. Os procedimentos pós-anova realizados foram da interação e ajustamento de modelos de médias de regressão linear simples para o fator aleatório (dias após a aplicação), dentro de cada nível dos fatores fixos. No desdobramento das interações, foram utilizados os testes de Duncan e Dunnet ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com teste da razão de verossimilhança (LRT), foi sugerido como responsivo o modelo m2 (efeito de fatores simples e interação tripla) em SOD e APX na parte aérea e APX na raiz. O efeito da interação tripla foi verificado em todas as variáveis, exceto para CAT na raiz. Este resultado retorna flexibilidade de escolha do modelo responsivo para caracterização biológica das respostas para as variáveis MDA, CAT, SOD, APX e GPX tanto na parte aérea quanto nas raízes (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de deviance os para os efeitos aleatórios dos modelos m1, m2, m3 e m4.

Modelo	G,L,	Parte aérea		Raiz	
		Deviance	LRT	Deviance	LRT
CAT					
M1	9	1954,4	-	1830,1	-
M2 ^{M1}	21	1916,7	0,0002**	1795,3	0,0005**
M3 ^{M1}	10	1940,0	0,0001**	1827,9	0,1436 ^{ns}
M4 ^{M2}	22	1916,7	1 ^{ns}	1795,3	1 ^{ns}
SOD					
M1	9	1668,0	-	2266,8	-
M2 ^{M1}	21	1648,7	0,0819 ^{ns}	2225,8	4,9 e-05**
M3 ^{M1}	10	1654,3	0,0002**	2239,0	1,3 e-07**
M4 ^{M2}	22	1645,6	0,0784 ^{ns}	2223,0	0,0917 ^{ns}
APX					
M1	9	2322,5	-	2724,8	-
M2 ^{M1}	21	2304,6	0,1178 ^{ns}	2704,8	0,0677 ^{ns}
M3 ^{M1}	10	2317,5	0,0253*	2718,8	0,0145*
M4 ^{M2}	22	2304,0	0,4467 ^{ns}	2704,8	0,79 ^{ns}
GPX					
M1	9	523,37	-	724,18	-
M2 ^{M1}	21	488,94	0,0006**	682,04	3,2e-05**
M3 ^{M1}	10	506,85	4,8e-05**	711,12	0,0003**
M4 ^{M2}	22	488,28	0,4169 ^{ns}	682,04	1 ^{ns}

** , * significativo a 1% e 5% pelo teste de qui-quadrado respectivamente; ^{ns} não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Generalizando, o desdobramento de efeitos de interações triplas é complexo, mas comum em experimentos de natureza biométrica. A inferência estatística sobre esse tipo de interação é frágil, ainda mais quando a repetibilidade dos resultados experimentais deve ser verificada em campo. Contudo, neste trabalho, a compreensão desse tipo de interação é necessário para a compreensão do arranjo complexo de fatores que regem as reações metabólicas que retornam resistência, tolerância ou suscetibilidade de espécies de plantas daninhas a ingredientes ativos e condições ambientais contrastantes.

Não foi verificado efeito significativo dos efeitos fixos (condições hídricas e produtos) e possíveis interações para as variáveis CAT, SOD, APX e GPX, tanto na parte aérea quanto nas raízes, pela análise univariada de variância (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise univariada de variância para os efeitos fixos do modelo para as variáveis CAT, SOD, APX e GPX.

FV	G.L.	QM Parte aérea			
		CAT	SOD	APX	GPX
STRES (S)	2	9506,5 ^{ns}	6760,8 ^{ns}	222916 ^{ns}	0,6211 ^{ns}
HERB (H)	4	9296,0 ^{ns}	244,8 ^{ns}	75156 ^{ns}	0,6211 ^{ns}
S x H	8	5157,4 ^{ns}	521,8 ^{ns}	40089 ^{ns}	2,3818 ^{ns}
QM raiz					
STRES (S)	2	63293 ^{ns}	83524 ^{ns}	422237 ^{ns}	12,9562 ^{ns}
HERB (H)	4	8758 ^{ns}	31246 ^{ns}	2121955 ^{ns}	5,7976 ^{ns}
S x H	8	6003 ^{ns}	26592 ^{ns}	303486 ^{ns}	6,3148 ^{ns}

^{ns}Não significativo pelo teste F de Snedecor a 5% de probabilidade. QM: Quadrado médio da análise univariada de variância obtido pelo método de mínimos quadrados.

Fonte: Elaboração do autor.

A CAT é uma das principais enzimas na eliminação do H₂O₂ gerado durante a fotorrespiração e β-oxidação dos ácidos graxos, convertendo-o a oxigênio e H₂O, ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico, atuando no citosol, nos peroxissomos e nos glioxissomos, podendo ser encontrada também nas mitocôndrias (PERL-TREVES e PERL, 2002; HELDT e HELDT, 2005; DUBEY, 2011; SHARMA et al., 2012).

No desdobramento da interação tripla para os caracteres da parte aérea, foi verificado que os produtos avaliados proporcionaram variações distintas na atividade da CAT das plantas de caruru rasteiro, em cada intervalo de tempo de avaliação (Tabela 3). Nas raízes, não foi verificada influência da interação tripla na atividade da CAT (Tabela 1).

Tabela 3. Valores médios da enzima catalase (CAT) observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.

Produtos	Parte aérea			Raiz		
	Horas após a aplicação dos produtos					
	24	48	72	24	48	72
Sem Estresse						
Testemunha	143,46	179,04	198,47	141,77	141,77	141,77
Glifosate	133,04 ^{ns}	160,82 ^{ns}	165,78*	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}
Diuron	176,53*	164,08*	167,93 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}
Nicosulfuron	202,97*	189,24 ^{ns}	147,54*	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}
2,4 D	187,38*	165,56 ^{ns}	185,02 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}	141,77 ^{ns}
Estresse moderado						
Testemunha	134,60	185,99	212,26	44,07	44,07	44,07
Glifosate	142,01 ^{ns}	189,00 ^{ns}	208,17 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}
Diuron	178,30*	155,22 ^{ns}	154,75*	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}
Nicosulfuron	156,87 ^{ns}	174,52 ^{ns}	191,87 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}
2,4 D	167,13*	157,61 ^{ns}	158,53*	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}	44,07 ^{ns}
Estresse severo						
Testemunha	144,51	159,61	182,16	75,67	75,67	75,67
Glifosate	163,74 ^{ns}	196,90*	180,65 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}
Diuron	205,58*	180,12 ^{ns}	157,59 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}
Nicosulfuron	179,40*	171,35 ^{ns}	126,35*	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}
2,4 D	184,30*	194,98*	139,60*	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}	75,67 ^{ns}

*Médias seguidas por um asterisco na mesma coluna diferem significativamente da testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. ^{ns}Médias não significativas em relação ao tratamento testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Fonte: Elaboração do autor.

No que se refere à decomposição de espécies reativas, e mais especificamente do H₂O₂, observou-se que, na ausência de estresse hídrico, as plantas tratadas com os herbicidas nicosulfuron, 2,4 D e diuron apresentaram incremento na atividade da CAT, distinguindo-se das demais às 24 HAA (Tabela 3). A atividade média da CAT em plantas tratadas por este último herbicida reduziu significativamente em 48 HAA.

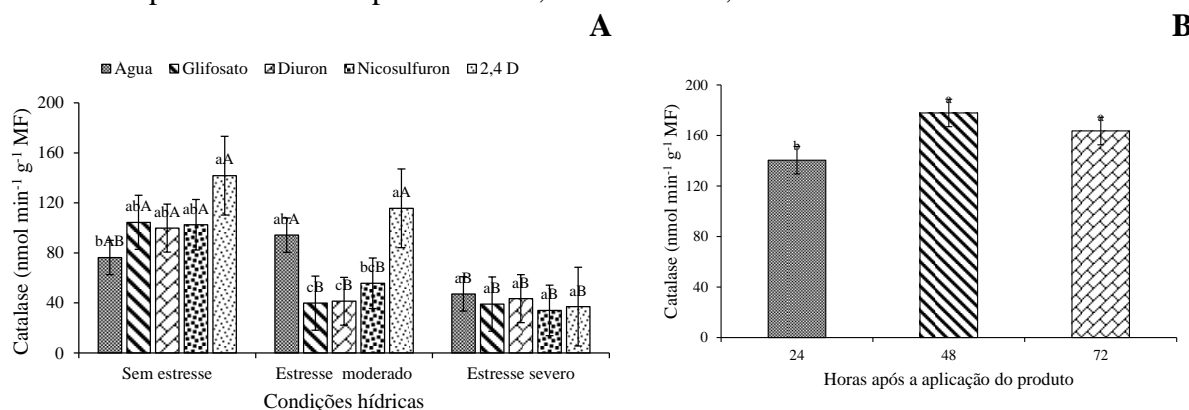
Reduções na atividade da CAT também foram verificadas em plantas tratadas com glifosate e nicosulfuron no tempo de 72 HAA, sugerindo que os danos causados à parte aérea das plântulas, atribuídos ao estresse hídrico, também afetaram a ação de enzimas antioxidantes. Dessa forma, sugere-se que as referidas enzimas perderam eficiência na eliminação das ERO geradas, tornando a peroxidação lipídica mais evidente, sendo este um indicador de dano às membranas celulares, frequentemente utilizado para avaliar o estresse oxidativo (HERNANDEZ et al., 2002).

Para a condição estresse moderado plantas tratadas com os herbicidas diuron e 2,4 D apresentaram médias superiores da atividade CAT em relação aos demais produtos no tempo de 24 HAA, todavia, essas mesmas plantas apresentaram os menores conteúdos da atividade

enzimática no tempo de 72HAA (Tabela 3). De maneira geral, no tratamento estresse severo, plantas tratadas com os herbicidas glifosate e diuron não diferiram do tratamento com água 72 HAA, apresentando boa defesa contra espécies ativas de oxigênio (EAO) (Tabela 3).

Quanto ao efeito dos produtos dentro de cada nível de estresse hídrico, verificou-se diferença significativa no tratamento sem estresse e com estresse moderado, com destaque para plantas tratadas com herbicida 2,4 D nos dois níveis em relação ao tratamento controle. Os herbicidas aplicados resultaram em redução na atividade da CAT, chegando aos valores mais baixos no estresse severo (Figura 1A).

Figura 1. Efeito da interação produtos \times condições hídricas na atividade da catalase (A). Efeito das horas após a aplicação na atividade da catalase das raízes de plantas de *Amaranthus deflexus* L. (B). Colunas distintas com letras minúsculas iguais ou colunas de mesma hachura com letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão. UFC, Fortaleza-CE, 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Resultados contrários foram encontrados em outras pesquisas com estresse oxidativo induzido pela seca, porém com culturas, tais como: *Carapa guianensis* Aubl. (COSTA et al., 2010), *Olea europaea* L. (BEN AHMED et al., 2009), *Coffea arabica* L. (DEUNER et al., 2011) e *Helianthus annuus* L. (CARNEIRO, 2011) onde foram observados aumento na atividades das enzimas antioxidantes, principalmente CAT, SOD, e APX, mostrando um eficiente sistema de defesa contra os danos celulares provocado pelo déficit hídrico. Verificou-se também diferença significativa para todos os produtos entre os níveis de condições hídricas estudados (Figura 1A).

Houve diferença significativa entre horas após a aplicação para CAT nos tempos de 48 e 72 HAA, apresentando atividade média estatisticamente iguais e superiores a atividade observada em 24 HAA (Figura 1B).

Na parte aérea e raízes das plantas de caruru rasteiro, a atividade da SOD sofreu interferência em todos os tratamentos testados (Tabela 4). A atividade da dismutase do superóxido (SOD) é considerada como a primeira linha de defesa das plantas contra as espécies reativas do oxigênio (EROs) (GILL; TUTEJA, 2010).

Tabela 4. Valores médios da enzima Dismutase do superóxido (SOD) observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.

Produtos	Parte aérea			Raiz		
	Horas após a aplicação dos produtos					
	24	48	72	24	48	72
Sem Estresse						
Testemunha	118,85	103,53	107,94	306,90	262,24	225,65
Glifosate	86,61 [*]	119,31 [*]	113,15 ^{ns}	195,89 [*]	332,56 ^{ns}	315,08 [*]
Diuron	110,36 ^{ns}	120,37 [*]	109,32 ^{ns}	182,88 [*]	249,09 ^{ns}	198,57 ^{ns}
Nicosulfuron	117,14 ^{ns}	106,76 ^{ns}	108,89 ^{ns}	206,82 [*]	188,43 [*]	187,10 ^{ns}
2,4 D	107,66 ^{ns}	111,48 ^{ns}	98,26 ^{ns}	221,65 [*]	274,04 ^{ns}	278,70 ^{ns}
Estresse moderado						
Testemunha	127,31	99,98	113,93	202,86	282,49	237,52
Glifosate	92,24 [*]	128,44 [*]	106,05 ^{ns}	180,27 ^{ns}	238,30 ^{ns}	243,52 ^{ns}
Diuron	113,32 ^{ns}	107,36 ^{ns}	111,48 ^{ns}	143,42 ^{ns}	249,09 ^{ns}	245,32 ^{ns}
Nicosulfuron	116,73 ^{ns}	96,34 ^{ns}	107,40 ^{ns}	478,57 [*]	167,94 [*]	173,30 ^{ns}
2,4 D	99,52 [*]	110,18 ^{ns}	109,37 ^{ns}	246,20 ^{ns}	277,40 ^{ns}	258,51 ^{ns}
Estresse severo						
Testemunha	88,57	118,59	105,08	157,64	215,59	283,93
Glifosate	111,93 [*]	121,03 ^{ns}	105,02 ^{ns}	203,81 ^{ns}	261,82 ^{ns}	203,56 [*]
Diuron	105,95 [*]	94,25 [*]	111,37 ^{ns}	294,00 [*]	254,18 ^{ns}	359,18 [*]
Nicosulfuron	112,50 [*]	102,14 [*]	115,89 ^{ns}	398,91 [*]	134,64 [*]	239,11 ^{ns}
2,4 D	115,52 [*]	111,00 ^{ns}	120,81 [*]	246,23 [*]	141,68 [*]	230,40 ^{ns}

*Médias seguidas por um asterisco na mesma coluna diferem significativamente da testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. ^{ns}Médias não significativas em relação ao tratamento testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Fonte: Elaboração do autor.

Na ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com o herbicida glifosate na parte aérea, bem como glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D nas raízes apresentaram, em média, menor atividade de SOD no tempo de 24 HAA (Tabela 4). Estes resultados observados contrastaram com plantas tratadas com diuron e glifosate na parte aérea no tempo de 48 HAA, bem como do glifosate nas raízes com 72 HAA, expressando atividades superiores de síntese

de SOD em relação ao controle. Hassan e Alla (2005) observaram decréscimo da atividade da SOD em plântulas de milho e feijão com 10 dias de idade, 48 horas após a aplicação de herbicidas inibidores do FSII.

No tratamento estresse moderado, plantas tratadas com o herbicida glifosate na parte aérea obtiverem comportamento semelhante ao observado no tratamento ausência de estresse. Nas raízes observou-se diferença significativa apenas em plantas tratadas com o herbicida nicosulfuron nos tempos de 24 e 48 HAA.

No tratamento com estresse severo, plantas tratadas com os herbicidas glifosate, diuron, nicosulfuron e 2,4 D na parte aérea, bem como diuron, nicosulfuron e 2,4 D nas raízes diferiram significativamente do tratamento controle, apresentando superioridade na produção de SOD no tempo de 24 HAA. Comportamento semelhante foi observado em plantas tratadas com o herbicida 2,4 D na parte aérea e com diuron nas raízes no tempo de 72 HAA. Menor atividade enzimática da SOD foi observada no tempo de 72 HAA em plantas tratadas com o herbicida glifosate, o que possivelmente ocasionou maiores danos pela peroxidação lipídica.

Bowler et al. (1994) relataram que o estresse fotooxidativo causado pelo herbicida Paraquat modifica intensamente a atividade da SOD e o nível de proteínas Cu/Zn-SOD nas folhas. Diversos trabalhos mostram ainda a forte correlação entre resistência de plantas a estresse oxidativo e a atividade da SOD (CATANEO et al., 2005).

Na parte aérea e nas raízes das plantas de caruru rasteiro, a atividade da APX sofreu interferência de todos os tratamentos testados (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios da Peroxidase do ascorbato (APX) observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos

Produtos	Parte aérea			Raiz		
	Horas após a aplicação dos produtos					
	24	48	72	24	48	72
Sem Estresse						
Testemunha	239,86	323,55	326,46	1168,99	1266,35	1268,80
Glifosate	238,69 ^{ns}	253,58*	266,34*	1263,09 ^{ns}	1312,76 ^{ns}	1282,40 ^{ns}
Diuron	271,52*	249,13*	280,12*	1158,16 ^{ns}	1356,94 ^{ns}	1324,79 ^{ns}
Nicosulfuron	270,55 ^{ns}	327,60 ^{ns}	235,88*	1201,01 ^{ns}	1419,02 ^{ns}	1438,31 ^{ns}
2,4 D	245,70 ^{ns}	267,23*	261,86*	1112,20 ^{ns}	1475,78 ^{ns}	1600,83*
Estresse moderado						
Testemunha	249,55	227,13	335,12	1208,07	1512,79	1412,71
Glifosate	253,61 ^{ns}	350,08*	284,57*	1239,84 ^{ns}	1390,74 ^{ns}	1238,71 ^{ns}
Diuron	217,97*	222,17 ^{ns}	310,89 ^{ns}	1152,75 ^{ns}	1383,30 ^{ns}	1244,81 ^{ns}
Nicosulfuron	320,86*	264,68*	267,58*	1277,70 ^{ns}	1346,67 ^{ns}	1293,14 ^{ns}
2,4 D	256,34 ^{ns}	288,97*	208,53*	1416,88 ^{ns}	1202,26*	1329,11 ^{ns}
Estresse severo						
Testemunha	249,85	273,10	210	1319,33	1189,27	1443,35
Glifosate	270,87 ^{ns}	283,90 ^{ns}	233,20 ^{ns}	1611,59*	1313,82 ^{ns}	1136,72*
Diuron	316,26*	330,84*	235,95 ^{ns}	1442,82 ^{ns}	1216,32 ^{ns}	1509,79 ^{ns}
Nicosulfuron	219,34 ^{ns}	244,56 ^{ns}	283,79*	1186,13 ^{ns}	1292,23 ^{ns}	1335,47 ^{ns}
2,4 D	335,63*	319,96*	250,61*	1397,31 ^{ns}	1123,46 ^{ns}	1131,83*

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. Letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

A Peroxidase do ascorbato (APX) e a CAT são as duas enzimas mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do H₂O₂ (BHATT; TRIPATHI, 2011), mudanças na atividade dessas enzimas estão estritamente correlacionadas com a tolerância das plantas ao estresse oxidativo (LEE et al., 2001).

Na ausência de estresse hídrico, plantas tratadas com o diuronna parte aérea, apresentaram superioridade da atividade de APX no tempo de 24 HAA, contrastando do resultado observado em plantas tratadas com glifosate, diuron e 2,4 D no tempo de 48 HAA. Além disso, todos os herbicidas estudados no tempo de 72 HAA, expressaram diminuição da produção de APX em relação ao controle poucas horas após aplicação.

Souza (2009), trabalhando com dosagem da mistura dos herbicidas clomazone + ametrina sem estresse hídrico, verificou aumento linear da atividade da APX em função das doses do produto aplicado na espécie *Emilia coccínea* (Sims) todavia observaram decréscimo linear na atividade da APX em *Digitaria horizontalis* Willd. denotando assim que essas plantas daninhas não possuem comportamento semelhante e que é necessário trabalhar com uma espécie por vez, para obtenção de resultados mais acurados.

Nas raízes, foi observada diferença significativa na atividade de APX apenas para plantas tratadas com 2,4 D, as quais apresentaram aumento na síntese de APX 72 HAA.

No tratamento estresse moderado, plantas tratadas com diuron e nicosulfuron apresentaram aumento na atividade de APX no tempo de 24 HAA na parte aérea. Comportamento semelhante foi observado em plantas tratadas com glifosate, nicosulfuron e 2,4 D nos tempo de 48 e 72 HAA. A capacidade de manter em níveis elevados a atividade da APX, SOD e CAT em condições de estresse ambiental é essencial para manter o equilíbrio entre a formação e a remoção de espécies reativas de oxigênio do ambiente intracelular (ZHANG; KIRKAM, 1996). Contudo, nas raízes foi verificada variabilidade na atividade de APX apenas nas plantas tratadas com 2,4 D, com decréscimo da síntese de APX 48 HAA.

No tratamento estresse severo as plantas tratadas com diuron e 2,4 D na parte aérea, nos tempo de 24 e 48 HAA, bem como com nicosulfuron e 2,4 D no tempo de 72 HAA apresentaram médias superiores de síntese de APX. Menor atividade enzimática da APX nas raízes, quando comparada com seu respectivo controle, foi observada no tempo de 72 HAA em plantas tratadas com glifosate e nicosulfuron, o que possivelmente ocasionou maiores danos por peroxidação lipídica.

Na parte aérea e nas raízes das plantas de caruru rasteiro a atividade da GPX sofreu interferência de todos os tratamentos testados (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da enzima glutaciona peroxidase (GPX) observada em plantas de caruru rasteiro em função dos níveis de estresse hídrico, herbicidas e horas após a aplicação dos produtos.

Produtos	Parte aérea			Raiz		
	Horas após a aplicação dos produtos					
	24	48	72	24	48	72
Sem Estresse						
Testemunha	2,26	2,29	2,59	3,91	6,22	4,88
Glifosate	2,10	2,64 ^{ns}	3,92*	5,48*	5,62 ^{ns}	4,96 ^{ns}
Diuron	2,81	2,41 ^{ns}	2,92 ^{ns}	4,98*	6,01 ^{ns}	6,32*
Nicosulfuron	2,74	2,03 ^{ns}	2,59 ^{ns}	5,40*	5,34 ^{ns}	5,03 ^{ns}
2,4 D	2,14	3,22*	2,93 ^{ns}	5,29*	4,94*	5,97*
Estresse moderado						
Testemunha	2,66	2,74	2,79	4,51	6,52	5,84
Glifosate	2,54 ^{ns}	3,56*	2,60 ^{ns}	4,80 ^{ns}	5,06*	5,05 ^{ns}
Diuron	2,73 ^{ns}	2,49 ^{ns}	2,70 ^{ns}	4,12 ^{ns}	5,91 ^{ns}	4,88 ^{ns}
Nicosulfuron	2,67 ^{ns}	2,34 ^{ns}	2,27 ^{ns}	5,13 ^{ns}	5,63 ^{ns}	5,36 ^{ns}
2,4 D	2,32 ^{ns}	3,13 ^{ns}	2,05*	7,04*	4,44*	6,06 ^{ns}
Estresse severo						
Testemunha	2,70	2,87	2,85	4,83	6,26	5,24
Glifosate	2,71 ^{ns}	1,80*	1,90*	6,26*	6,04 ^{ns}	4,94 ^{ns}
Diuron	2,92 ^{ns}	2,52 ^{ns}	2,27 ^{ns}	4,90 ^{ns}	5,46 ^{ns}	5,63 ^{ns}
Nicosulfuron	3,04 ^{ns}	3,28 ^{ns}	2,78 ^{ns}	5,50 ^{ns}	5,57 ^{ns}	5,24 ^{ns}
2,4 D	2,60 ^{ns}	2,98 ^{ns}	2,38 ^{ns}	5,85*	3,91*	4,71 ^{ns}

*Médias seguidas por um asterisco na mesma coluna diferem significativamente da testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. ^{ns}Médias não significativas em relação ao tratamento testemunha, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Fonte: Elaboração do autor.

Na ausência de estresse hídrico observou-se aumento significativo na atividade de GPX em plantas tratadas com os herbicidas 2,4 D e glifosate, nos tempos de 48 e 72 HAA respectivamente. Nas raízes foi observado comportamento semelhante em plantas tratadas com todos os herbicidas estudados no tempo de 24 HAA. Decréscimo na atividade de GPX em plantas tratadas com o herbicida 2,4 D, no tempo de 48 HAA, todavia, houve recuperação da atividade no tempo de 72 HAA.

No tratamento estresse moderado, plantas tratadas com o herbicida glifosate na parte aérea no tempo de 48 HAA e 2,4 D nas raízes no tempo de 24 HAA, apresentaram superioridade na atividade de GPX, quando comparada com os demais tratamentos. Menor atividade enzimática da GPX na parte aérea foi observada em plantas tratadas com o herbicida 2,4 D no tempo de 72 HAA, bem como nas raízes, foi observada no tempo de 48 HAA em plantas tratadas com os herbicidas glifosate e 2,4 D.

No tratamento estresse severo plantas tratadas com o herbicida glifosate na parte aérea, nos tempo de 48 e 72 HAA, apresentando médias inferiores de síntese de GPX.

Comportamento semelhante nas raízes foi observado em plantas tratadas com o herbicida 2,4 D no tempo de 48 HAA.

4 CONCLUSÕES

1. Foi verificada redução das atividades do sistema enzimático antioxidante nas plantas de *Amaranthus deflexus* L. em função da aplicação de herbicidas associados às condições de estresse hídrico;
2. Maiores atividades das enzimas antioxidativas foram observadas em até 48 horas após a aplicação dos produtos.

REFERÊNCIAS

- BHATT, I.; TRIPATHI, B. N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, Arlington, v.29, n. 6, p.850-859, 2011.
- BEERS, R. F. JÚNIOR; SIZER I.W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v.95, n.1, p. 133-140, 1952.
- BOWLER, C.; VAN CAMP, W.; VAN MONTAGU.; INZE, D. Superoxide dismutase plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**. Philadelphia, v. 13, n. 3, p. 199-218, 1994.
- CATANEO, A. C.; CHAMMA, K. L.; FERREIRA, L. C.; DÉSTRO, G. F. G.; SOUZA C. F. de. Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) Cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**. Passo fundo, v. 4, n. 2. 2005.
- CARNEIRO, M. M. L. C. **Trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em plantas de girassol em resposta ao déficit hídrico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Instituto de Biologia; Universidade Federal de Pelotas, 2011.
- CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUZA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 752-761, 2011.
- DEUNER, S. et al. Stomatal behavior and components of the antioxidative system in coffee plants under water stress. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 77-85, jan./fev. 2011.
- DUBEY, R. S. Metal Toxicity, Oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 9, p. 178-203. 2011.
- GIANNOPOLITIS C. N.; RIES S. K.; Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

HASSAN, N. M.; ALLA, M. M. N. Oxidative stress in herbicide-treated broad bean and maize plants. **Acta physiologiae plantarum**, Heidelberg, v. 27, n. 4, p.429-438, 2005.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, n.1, p. 189-198, 1968.

HELDT, H. W.; HELDT, F. In the photo respiratory pathway phosphoglycolate formed by the oxygenase activity of Rubisco is recycled. In: **Plant Biochemistry**. 3rd edition. San Diego: Academic Press, cap. 7, p. 195-211. 2005.

HERNÁNDEZ, J.A.; ALMANSA, M.S. Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. **Physiologia Plantarum**, v.115, p.251-257, 2002.

LEE, D. H.; KIM, Y. S.; LEE, C. B. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice *Oryza Sativa* L., **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 158, n. 6, p. 737-745, 2001.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

NASCIMENTO, J. B.; BARRIGOSI, J. A. F. O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 1, n.1, p. 234-250, 2014.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

PEREIRA, W. P.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, p.766-773, 2012.

PERL-TREVES, R.; PERL, A. Oxidative stress: an introduction. In: _____. **Oxidative Stress in Plants**, 2002.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Anatomia foliar de plantas daninhas do Brasil**. Viçosa, MG: Edição dos Autores, 2003. v. 1. 118 p.

RIBEIRO, S. M. R. et al. A formação e os efeitos das espécies reativas de oxigênio no meio biológico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 133-149, set./dez. 2005.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, London, v.2012, p.1-26, 2012.

SOUZA, R. C. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos de *Emilia coccinea* (sims) f. Don e *Digítaria horizontalis* Willd. Submetidas à mistura de clomazone+ametrina**. 2009. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo-AL. 2009.

URBANEK, H.; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E.; HERKA, K. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v.13, n. 1, p. 43-50, 1991.

VICTORIA FILHO, R. Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas. **Informe Agropecuário**, Cidade Nova, v. 11, p. 31-37, 1985.