**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Crescimento e desenvolvimento, resistência múltipla aos herbicidas
inibidores da EPSPS-ALS e alternativas em pós-emergência para controle
de *Amaranthus palmeri* (S.) Wats**

Acácio Gonçalves Netto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2017**

Acácio Gonçalves Netto
Engenheiro Agrônomo

**Crescimento e desenvolvimento, resistência múltipla aos herbicidas inibidores da
EPSPS-ALS e alternativas em pós-emergência para controle de
Amaranthus palmeri (S.) Wats**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Gonçalves Netto, Acácio

Crescimento e desenvolvimento, resistência múltipla aos herbicidas inibidores da EPSPS-ALS e alternativas em pós-emergência para controle de *Amaranthus palmeri* (S.) Wats / Acácio Gonçalves Netto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

75 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Caruru 2. Glyphosate 3. Resistência cruzada 4. Controle químico I.
Título

A minha querida esposa, Izabely,
a minha amada filha, Bianca,
aos meus pais, Nivaldo e Márcia,
e ao meu estimado irmão, Rhafael

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Deus pela minha existência e à toda minha família, por me darem todo apoio, dedicação, companhia e paciência durante os períodos mais importantes do mestrado;
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em especial ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP e ao Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, pela oportunidade concedida na realização deste trabalho;
- À minha querida esposa Izabely Carvalho Luz, por toda a dedicação, companhia e paciência durante os períodos mais importantes do mestrado;
- À minha amada filha Bianca Carvalho Gonçalves Luz, razão de tudo, pela compreensão nas minhas ausências e pelo carinho nas horas difíceis;
- Aos meus pais (Márcia e Nivaldo), por me darem todo apoio, estarem sempre presentes e pelas valiosas conversas e ensinamentos ao longo da minha vida;
- Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela orientação, amizade, colaboração, oportunidade e pelas suas contribuições à minha formação profissional;
- Ao meu amigo Professor Dr. Saul Jorge Pinto de Carvalho pelo companheirismo, auxílio e conhecimento passados;
- Ao meu amigo Engenheiro Agr. Dr. Marcelo Nicolai pelo companheirismo e auxílios durante o todo o período do mestrado e conhecimentos passados;
- Ao amigo, Engenheiro Agrônomo, Ednaldo Alexandre Borgato por todo o companheirismo e auxílio nos experimentos;
- À Luciane Aparecida Lopes por todo auxílio, dedicação e paciência nas questões administrativas.
- A CAPES pela bolsa concedida

MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
Referências.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Planta daninha.....	11
2.2 Interferência das plantas daninhas em sistemas de produção.....	11
2.3 Biologia e manejo do caruru palmer (<i>Amaranthus palmeri</i>).....	13
Referências.....	16
3 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO BIÓTIPO DE <i>Amaranthus palmeri</i> IDENTIFICADO NO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL.....	19
Resumo.....	19
Abstract.....	19
3.1 Introdução.....	19
3.2 Material e Métodos.....	21
3.3 Resultados e Discussão.....	23
3.4 Conclusões.....	30
Referências.....	30
4 RESISTÊNCIA DE <i>Amaranthus palmeri</i> AO HERBICIDA GLYPHOSATE EM ÁREAS AGRÍCOLAS DO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	33
4.1 Introdução.....	34
4.2 Material e Métodos.....	35
4.3 Resultados e Discussão.....	37
4.4 Conclusões.....	43
Referências.....	53
5 RESISTÊNCIA MÚLTIPLA AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS E EPSPS DE <i>Amaranthus palmeri</i> RESISTENTE AO GLYPHOSATE NO ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL.....	47
Resumo.....	47
Abstract.....	47

5.1 Introdução.....	47
5.2 Material e Métodos.....	49
5.3 Resultados e Discussão.....	51
5.4 Conclusões.....	59
Referências.....	59
6 HERBICIDAS ALTERNATIVOS PARA CONTROLE EM PÓS-EMERGÊNCIA DE <i>Amaranthus palmeri</i> RESISTENTE AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA EPSPS E ALS.....	63
Resumo.....	63
Abstract.....	63
6.1 Introdução.....	63
6.2 Material e Métodos.....	65
6.3 Resultados e Discussão.....	67
6.4 Conclusões.....	71
Referências.....	71
7 CONCLUSÕES GERAIS.....	75

RESUMO

Crescimento e desenvolvimento, resistência múltipla aos herbicidas inibidores da EPSPS-ALS e alternativas em pós-emergência para controle de *Amaranthus palmeri* (S.) Wats

Em 2015, o caruru palmer (*Amaranthus palmeri*) foi identificado pela primeira vez no Brasil, na região do núcleo algodoeiro do estado de Mato Grosso, em áreas normalmente cultivadas com rotação das culturas de algodão, soja e milho. Esta espécie possui reconhecida importância internacional, no entanto, não se conhece seu comportamento biológico nos sistemas de produção brasileiros. Ainda, também é desconhecido o grau de suscetibilidade do biótipo introduzido no país aos herbicidas, principalmente ao glyphosate e inibidores da ALS, que são os principais herbicidas utilizados para seu controle em outros países. Deste modo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o crescimento e desenvolvimento do biótipo de *A. palmeri* originário do Estado do Mato Grosso, em condição de casa-de-vegetação; caracterizar o nível de resistência deste biótipo ao herbicida glyphosate (inibidor da EPSPS); verificar a existência de resistência múltipla EPSPS-ALS, bem como resistência cruzada entre os grupos químicos dos herbicidas inibidores da ALS; além de testar herbicidas alternativos aplicados em condição de pós-emergência da planta daninha. O biótipo brasileiro de *A. palmeri* teve rápido desenvolvimento fenológico, com início de emissão de inflorescências aos 50 dias após semeadura; o desenvolvimento fenológico de *A. palmeri* teve ajuste linear conforme equação $y = 0,8866.x$; o biótipo teve acúmulo máximo de 45 g planta⁻¹, com pico de crescimento absoluto aos 60 DAS; o crescimento da espécie foi considerado moderado quando comparado às espécies nacionais de *Amaranthus*, bem como aos dados internacionais de *A. palmeri*. Quanto aos herbicidas inibidores da EPSPS, pôde-se concluir com segurança tratar-se de biótipo resistente ao herbicida glyphosate. Ainda, constatou-se resistência múltipla aos inibidores da EPSPS-ALS. Considerando-se somente os inibidores da ALS, trata-se de população com resistência cruzada entre sulfoniluréias - triazolopirimidinas - imidazolinonas. Estas plantas foram adequadamente controladas pelos seguintes tratamentos herbicidas (g ha⁻¹): fomesafen a 250, lactofen a 168, mesotrione + atrazina a 120 + 1.500, tembotrione + atrazina a 75,6 + 1.500, amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400 g i.a. ha⁻¹. O estágio de aplicação de 2 a 4 folhas, com até 5 cm de altura, é o mais indicado para o controle da planta daninha.

Palavras-chave: Caruru; Glyphosate; Resistência cruzada; Controle químico

ABSTRACT

Growth and development, multiple resistance to EPSPS-ALS inhibiting herbicides and post-emergence alternatives to control *Amaranthus palmeri* (S.) Wats

In 2015, Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) was firstly identified in Brazil, at the cotton nucleus region of the State of Mato Grosso, in areas usually maintained under cotton, soybean and corn crop rotation. This species has recognized importance worldwide, however its biological behavior in Brazilian cropping systems is unknown. In addition, it is also unknown the degree of herbicide susceptibility of the biotype introduced in the country, mainly its susceptibility to glyphosate and ALS inhibiting herbicides, that are the main products used to control this species in other countries. Therefore, this work was developed with the objective of characterizing growth and development of the *A. palmeri* biotype collected in the state of Mato Grosso, Brazil, under greenhouse condition; verifying the resistance level of this biotype to glyphosate (EPSPS inhibiting herbicide); verifying the existence of EPSPS-ALS multiple resistance, as well as crusade resistance between chemical groups of ALS-inhibiting herbicides; testing alternative herbicides for post-emergence control of this weed. Brazilian biotype of *A. palmeri* had fast phenological development, with beginning of flowering at 50 days after seeding. Species phenology was adjusted to the linear equation $y = 0,8866.x$. In average, the maximum dry matter accumulated was 45 g plant⁻¹, with edge of absolute growth at 60 DAS. In conclusion, growth parameters of the Brazilian biotype of *A. palmeri* were considered moderated when compared to national species of *Amaranthus*, as well as with international data of *A. palmeri*. Regarding to EPSPS inhibiting herbicides, it was possible to conclude that Brazilian biotype of *A. palmeri* is glyphosate resistant. Therefore, multiple resistance to EPSPS-ALS inhibiting herbicides was also identified. Considering exclusively ALS-inhibiting herbicides, this population has sulfonilurea-triazolopyrimidine-imidazolinone crusade resistance. Plants were adequately controlled with the following herbicides (g ha⁻¹): fomesafen at 250, lactofen at 168, mesotrione + atrazine at 120 + 1,500, tembotrione + atrazine a 75.6 + 1,500, ammonium-glufosinate at 400 and paraquat at 400. Phenological stage of 2 to 4 leaves, with up to 5 cm of height, was the most indicated to Palmer amaranth control.

Keywords: Palmer amaranth; Glyphosate; Cross resistance; Chemical control

1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas foram selecionadas a partir de distúrbios naturais do ambiente ou pela agricultura, que modificou o habitat natural da vegetação nativa, forçando a adaptação das espécies aos ambientes agrícolas. Algumas destas plantas estão condicionadas às suas regiões de origem, porém muitas delas tornaram-se cosmopolitas, disseminando-se por diversas regiões onde a agricultura é praticada (BOOTH; MURFPHY; SWANTON, 1961).

Frequentemente, espécies não nativas são disseminadas pelo mundo pelo próprio ser humano que as transportam para outros ambientes por terem características ornamentais, forrageiras, medicinais e até mesmo como culturas e, posteriormente, se adaptam ao novo habitat tornando-se infestantes com variável grau de agressividade. Inúmeros foram os casos de introdução de plantas com finalidade de alimentação animal que se tornaram plantas daninhas de alta competitividade. No Brasil, as espécies *Urochloa decumbens*, *U. brizantha* e *Panicum maximum* são apenas alguns exemplos de forrageiras introduzidas a partir de meados de 1950, e que atualmente são grandes problemas para a agricultura brasileira (KISSMANN, 1997).

Neste sentido, Andrade Junior et al. (2015) identificaram a espécie *Amaranthus palmeri* pela primeira vez no Brasil, na região do núcleo algodoeiro Centro-Norte do estado de Mato Grosso, em áreas normalmente cultivadas com rotação das culturas de algodão, soja e milho, sendo que não existem relatos na literatura de como esta espécie foi introduzida no Brasil. A espécie é dióica, o que significa que, em uma população, parte das plantas terão somente flores femininas (plantas “fêmea”) e outra parte, somente flores masculinas (plantas “macho”). Essa é uma característica que facilita a identificação de *A. palmeri*, uma vez que a maioria das outras espécies de caruru já identificadas no Brasil têm flores masculinas e femininas na mesma planta, sendo classificadas como monóicas. As sementes são produzidas somente nas plantas com flores femininas, mas há um detalhe importante e agravante da reprodução da espécie: especula-se que flores femininas podem produzir sementes mesmo sem a ocorrência de polinização (LEGLEITER; JOHNSON, 2013).

Nos Estados Unidos da América, há populações de *A. palmeri* que possuem resistência a herbicidas classificados em cinco mecanismos de ação: inibidores da ALS, inibidores da EPSPs, inibidores da HPPD, inibidores da síntese da tubulina e inibidores do fotossistema II. O manejo dessas populações se torna ainda mais complexo, sobretudo para as populações com resistência múltipla, o que já foi relatado para dois ou três desses mecanismos de ação: ALS/glyphosate; ALS/glyphosate/FSII e ALS/FSII/HPPD (BECKIE; TARDIF, 2012;

WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; HEAP, 2016). Além das fronteiras dos EUA, já foram relatados biótipos de *A. palmeri* com resistência aos inibidores da ALS em Israel (HEAP, 2016) e na Argentina (MORICHETTI et al., 2013).

Após a introdução de *A. palmeri* no Brasil, houve necessidade da busca de informações sobre a sua biologia, formas de disseminação, competitividade e controle, pois estas informações existem para outros países, mas não nas condições locais brasileiras. Também, é comum que as plantas daninhas se comportem de maneira diferenciada em outros ambientes que não sejam o de sua origem. Assim, esta pesquisa se tornou necessária e relevante, antes mesmo que a planta daninha se disseminasse no país.

Sendo assim, este trabalho de pesquisa foi desenvolvido com o objetivo de estudar o crescimento e o desenvolvimento de um biótipo de caruru *Amaranthus palmeri*, caracterizar os níveis resistência ao herbicida glyphosate e aos herbicidas inibidores da ALS, bem como testar herbicidas com mecanismos de ação alternativos ao glyphosate.

Referências

ANDRADE JUNIOR, E. R.; CAVENAGHI, A. L.; GUIMARÃES, S. C.; CARVALHO, S. J. **P. Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).

BECKIE, H.; TARDIF, F.J. Herbicide cross resistance in weeds. **Crop Protection**, Guildford, v.35, n.1, p.15-28, 2012.

BOOTH, B.D.; MURFPY, S.D.; SWANTON, C.J. **Weed ecology in natural and agricultural systems**. Beltsville: The National Agricultural Library, 1961. 420 p.

HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/In.asp>. Acesso em: 18 de novembro 2016.

KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 1997. v.1. 825p.

LEGLEITER, T., JOHNSON, B. Palmer Amaranth biology, identification and management. Purdue Extension, WS-51, 2013. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WS/WS-51-W.pdf> Acesso: 24 jun. 2015.

MORICHETTI, S.; CANTERO, J.J.; NÚÑEZ, C.; BARBOZA, G.E.; ESPINAR, L.A.; AMUCHASTEGUI, A.; FERREL, J. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina Botánica**, Cordoba, v. 48, n.2, p.347-354, 2013.

WARD, S. M.; WEBSTER, T. M.; STECKEL, L. E. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): A review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Plantas daninhas

Dentre os conceitos a respeito do que é uma planta daninha, alguns autores conceituam como sendo, simplesmente, “...quando ocorre em local e momento indesejado, interferindo negativamente no cultivo” (ZILLER, 2001).

Outros autores conceituam, ecologicamente, plantas daninhas como sendo “...plantas com características pioneiras, ou seja, plantas que ocupam locais onde por qualquer motivo, a cobertura natural foi extinta e o solo tornou-se total ou parcialmente exposto” (PITELLI, 1987) ou “...espécies oportunistas (espontâneas) que ocorrem em ambientes com distúrbio humano” (PRITCHARD, 1960). Há, ainda, conceitos como “...planta sem valor econômico ou que compete, com o homem, pelo solo” (CRUZ, 1979); “...plantas cujas vantagens ainda não foram descobertas” e “...plantas que interferem nos objetivos do homem em determinada situação” (FISCHER, 1973).

Segundo Silva e Silva (2007), em um conceito mais amplo, uma planta só pode ser considerada daninha se estiver, direta ou indiretamente, prejudicando determinada atividade humana. Portanto, pode-se notar que qualquer planta, de qualquer espécie, pode ser considerada planta daninha se estiver ocorrendo em um local de atividade humana e se estiver afetando de maneira negativa, em algum momento ou durante todo o tempo, essa atividade.

No geral, planta daninha é um conceito antrópico, ou seja, definido pelo homem; assim considere-se que se a planta causa algum tipo de dano à cultura de interesse ou a alguma etapa do processo de produção a mesma é uma daninha.

2.2 Interferência das plantas daninhas no sistema de produção

A infestação das plantas daninhas nas culturas agrícolas pode interferir de forma altamente significativa no desenvolvimento e produtividade das culturas, portanto, sua infestação é um dos mais importantes fatores bióticos dentro de um agro ecossistema comercial. Sua importância é dependente do momento e situação de infestação, podendo inclusive ser considerada como uma planta útil, como no caso da formação de cobertura morta a partir das plantas daninhas em um terreno em pousio, cujas plantas daninhas, quando corretamente dessecadas são desejadas como cobertura do solo para evitar erosão (KISSMANN, 2004).

As razões da alta competitividade das plantas daninhas estão relacionadas com suas características de rusticidade, que lhes conferem grande capacidade competitiva. Enquanto as culturas são melhoradas geneticamente, visando produtividade e não rusticidades, sendo estas duas características normalmente opostas

Como consequência, a infestação de plantas daninhas nas áreas agrícolas está classificada dentre os fatores bióticos mais importantes que interferem negativamente no potencial produtivo das culturas. Os efeitos negativos causados pelas plantas daninhas se manifestam sobre a quantidade e a qualidade da produção agrícola, consequência da competição pelos recursos de crescimento disponíveis no ambiente de produção, da alelopatia, ou por serem agentes que hospedam pragas e doenças, permitindo a multiplicação destas (CARVALHO, 2006). Lorenzi (2006) estima que, no Brasil, as perdas ocasionadas às culturas agrícolas pela interferência das plantas daninhas estejam em torno de 20 a 30%.

As características das espécies e o comportamento delas no ambiente são os principais objetivos dos estudos da biologia das plantas daninhas atualmente. Quando se analisa o volume de pesquisas relacionadas ao controle químico de plantas daninhas, percebem-se muitos trabalhos nessa área, e relativamente poucos em biologia. Entretanto, este segmento de estudo da Ciência das Plantas Daninhas está crescendo consideravelmente nos últimos anos. Esses estudos são importantes, pois incorporam novos conhecimentos dos aspectos relacionados à competição entre plantas daninhas e as culturas, determinando o melhor momento para aplicação dos métodos de controle e, principalmente, auxiliando no desenvolvimento de práticas para o manejo integrado das plantas daninhas (CAMPOS, 2011).

Segundo Fernández (1982), uma das maiores limitações que existe para a implantação de programas de manejo integrado de plantas daninhas é a carência de conhecimentos básicos sobre a biologia e ecologia destas plantas. O manejo efetivo das plantas daninhas, por meio de um sistema de manejo integrado, deve estar baseado em conhecimentos sólidos sobre biologia, uma vez que o grau de interferência das plantas daninhas sobre as culturas está diretamente relacionado com características próprias da comunidade infestante (BLEASDALE, 1960).

Novas espécies são disseminadas frequentemente pelo mundo por terem características ornamentais, forrageiras, medicinais e até mesmo como culturas e, posteriormente, se adaptam ao novo habitat tornando-se infestantes com variável grau de agressividade (WILLIAMS, 1980). Inúmeros foram os casos de introdução de plantas com finalidade de alimentação animal que se tornaram plantas daninhas de alta competitividade. No mundo pode-se citar *Cynodon dactylon* e *Digitaria* spp. como espécies disseminadas com esta

finalidade (ZIMDAHL, 1999). No Brasil, as espécies *Urochloa decumbens*, *U. brizantha* e *Panicum maximum* são alguns exemplos de forrageiras introduzidas a partir de meados de 1950 e que hoje são grandes problemas para a agricultura brasileira. Em geral, tratam-se de plantas originárias da África, com crescimento rápido, que produzem muitas sementes e infestam lavouras com alta densidade e competitividade (KISSMANN; GROTH, 1999).

Qualquer mudança no sistema produtivo promove, em maior ou menor grau, alterações nas condições microclimáticas. Essas alterações, por sua vez, poderão influenciar nas composições específicas das plantas daninhas, pois novos fatores de pressão seletiva passam a atuar de forma mais significativa no agro ecossistema.

2.3 Biologia e manejo do caruru palmer (*Amaranthus palmeri*)

Identificada inicialmente no ano de 2015, em áreas de cultivo de algodão no estado de Mato Grosso (ANDRADE JUNIOR et al., 2015), a planta daninha caruru palmer (*Amaranthus palmeri*) é assunto de discussões no Brasil. Já se sabe que se trata de uma planta resistente ao herbicida glyphosate (CARVALHO et al., 2015), bem como também aos herbicidas inibidores da ALS (GONÇALVES NETTO et al., 2016), especulando-se se a mesma poderia ainda ser resistente também a outros mecanismos de ação e, assim, quais alternativas de controle eficientes restariam para o manejo da mesma.

As espécies de caruru com ocorrência no Brasil são de ciclo de vida anual, reproduzidas exclusivamente por sementes e, de modo geral, de difícil diferenciação visual entre as espécies. Uma planta de grande porte pode produzir mais de 200.000 sementes (LORENZI, 2008; KISSMANN; GROTH, 1999). *A. palmeri* é uma espécie de planta daninha oportunista e competitiva por excelência, com alta fecundidade, germinação e crescimento rápido; bem como capacidade fenotípica e plasticidade fenológica que permitem a produção de sementes em condições diferentes. Estudos realizados nos Estados Unidos da América evidenciaram que *A. palmeri* podem produzir cerca de 1.000.000 sementes por planta, sendo que após a dispersão, estas podem germinar entre 3 a 8 dias (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Caruru palmer é uma espécie dioica, ou seja, parte das plantas de uma população tem somente flores femininas (plantas “fêmea”) e outra parte, somente flores masculinas (plantas “macho”). Essa é uma característica que facilita a identificação de *A. palmeri*, uma vez que a maioria das outras espécies de caruru já identificadas no Brasil têm flores masculinas e femininas na mesma planta, sendo classificadas como monoicas. As sementes são produzidas

somente nas plantas com flores femininas, mas há um detalhe importante e agravante da reprodução da espécie: flores femininas podem produzir sementes mesmo sem a ocorrência de polinização (LEGLEITER; JOHNSON, 2013).

O *A. palmeri* é originário de regiões áridas do centro sul dos Estados Unidos da América (EUA) e norte do México, e está presente em vários países do mundo. Nos últimos anos, esta espécie se tornou a principal planta daninha da cultura do algodão nos EUA, em função de suas características biológicas, e da resistência a herbicidas de diferentes mecanismos de ação (LEGLEITER; JOHNSON, 2013).

Nos EUA, além do glyphosate, há relatos de populações de *A. palmeri* resistentes a outros mecanismos de ação, tais como:

(i) Inibidores da síntese de tubulinas (K_1)

Foi o primeiro relato de resistência a herbicidas de *A. palmeri* nos Estados Unidos. A resistência ao herbicida trifluralina foi confirmada em 1989, em oito populações de diferentes locais no estado da Carolina do Norte e em 1998 no estado do Tennessee (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

(ii) Fotossistema II (C)

Os primeiros relatos ocorreram no estado americano do Texas em 1993, referentes ao herbicida atrazina. Posteriormente, a resistência a atrazina foi relatada novamente no Texas e também no Kansas em 1995 e na Geórgia em 2008 (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

(iii) ALS (A)

Nos Estados Unidos, os inibidores de ALS têm sido amplamente utilizados no controle de *A. palmeri* desde a sua introdução em 1982. A maioria dos casos de resistência ALS é resultado de alterações na sequência de bases do gene que codifica a ALS, traduzindo uma enzima que é menos sensível à ligação com os inibidores da ALS. Esta sequência alterada é normalmente herdada como um alelo único, com um alto grau de dominância. A resistência de *A. Palmeri* aos herbicidas inibidores da ALS está difundida em toda a região sul os EUA. Foram relatados casos em Arkansas em 1994, Carolina do Norte em 1995, Carolina do Sul em 1997, na Geórgia em 2000 e Flórida e Mississippi em 2008 (HEAP, 2016). A resistência

cruzada a vários herbicidas inibidores da ALS é comum em *A. Palmeri* (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

(iv) HPPD (F₂)

A resistência à vários herbicidas que inibem a HPPD (hidroxifenil-piruvato-dioxigenase) foi recentemente confirmada no estado americano do Kansas (2012), mas o mecanismo e modo de herança da resistência desta ainda não é conhecido (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

O manejo dessas populações se torna ainda mais complexo, sobretudo para as populações com resistência múltipla, que já foi relatada para dois ou três desses mecanismos de ação: ALS/glyphosate; ALS/glyphosate/FSII e ALS/FSII/HPPD (BECKIE; TARDIF, 2012; WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; HEAP, 2016). Além das fronteiras dos EUA, já foram relatados biótipos de *A. palmeri* com resistência a inibidores da ALS em Israel (HEAP, 2016) e na Argentina (MORICHETTI et al., 2013).

O impacto da ineficácia de controle de *A. palmeri*, seja por falta de manejo ou pelo fato das plantas serem resistentes a algum tipo de herbicida, em qualquer tipo de cultura pode ser devastador. Essas perdas de produtividade podem chegar a 91% na cultura do milho, 65% no algodão, 68% no sorgo, 79% na soja, 68% no amendoim e 94% na batata-doce (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Vários fatores podem contribuir para que *A. palmeri* se torne uma das principais plantas daninhas dos sistemas de cultivo brasileiro. Alguns destes fatores estão associados às práticas nacionais de manejo de plantas daninhas. Por exemplo, o plantio direto, que preza pelo não revolvimento do solo, favorece *A. palmeri* com suas sementes pequenas que germinam facilmente na superfície da palhada. Outro aspecto, é a grande dependência por herbicidas no sistema de produção atual, especialmente do glyphosate em culturas resistentes, o que contribui para um ambiente favorável para esta planta daninha, que tem populações diversas geneticamente, além de um grande potencial para a evolução rápida da resistência (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Referências

- ANDRADE JUNIOR, E.R.; CAVENAGHI, A.L.; GUIMARÃES, S.C.; CARVALHO, S.J.P. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).
- BECKIE, H.; TARDIF, F. J. Herbicide cross resistance in weeds. **Crop Protection**, Guildford, v.35, n.1, p. 15-28, 2012.
- BLEASDALE, J.K.A. Studies on plant competition. In: HARPER, J.L. (Ed.). **The biology of weeds**. Oxford: Backwell Scientific, 1960. p. 133-142.
- CAMPOS, L. H. F. **Aspectos da emergência, crescimento inicial e suscetibilidade a herbicidas utilizados em cana-de-açúcar de *Merremia cissoides* (Lam.) Hall. f., *Neonotonia wightii* (Am.) Lackey e *Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy**. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.
- 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 – Área de Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A. L.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Detection of glyphosate-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 33, n. 3, p. 579-586, 2015.
- CRUZ, L. S. P. **Herbicidas em cultura de algodão**. São Paulo: CATI, 1979. 23p.
- FERNÁNDEZ, O.A. Manejo integrado de malezas. **Planta Daninha**, Piracicaba, v. 5, n. 2, p. 69-75, 1982.
- FISCHER, H.H. Conceito de ervas daninhas. In: RODRIGUES, J.J., WILLIAN, R.D. (Eds.) **Curso intensivo de controle químico de ervas daninhas**. Viçosa, MG: UFV, 1973. p.1-74.
- HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/In.asp>. Acesso em: 18 de novembro 2016.
- KISSMANN, K.G. Herbicidas: passado, presente e futuro. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 11-12.
- KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Bernardo do Campo: BASF, 1999. 978 p.
- LEGLEITER, T.; JOHNSON, B. Palmer Amaranth biology, identification and management. **Purdue Extension**, WS-51, 2013. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WS/WS-51-W.pdf> Acesso: 24 jan. 2016.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas:** plantio direto e convencional. 6. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006. 339 p.

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

MORICHETTI, S.; CANTERO, J. J.; NÚÑEZ, C.; BARBOZA, G. E.; ESPINAR, L. A.; AMUCHASTEGUI, A.; FERREL, J. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina Botánica**, Cordoba, v. 48, n.2, p.347-354, 2013.

PITELLI, R.A. **Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas.** Série Técnica IPEF, Piracicaba, v4, n.12, p.1, São Paulo, 1987. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr12/cap01.pdf>>. Acesso em: 30 OUT. 2016.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas.** UFV: Viçosa - MG, 2007. 367 p.

WARD, S. M.; WEBSTER, T. M.; STECKEL, L. E. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013.

WILLIAMS, M.C. Porposefully introduced plants that have become noxious or poisonous weeds. **Weed Science**, Lawrence, v. 28, n. 3, p. 300-305, 1980.

ZILLER, S.R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas e da Auto-sustentabilidade (Ideas) PR. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.30, n.178, p.77-79, 2001.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of weed science.** Fort Collins: Academic Press, 1999. 556 p.

3 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO BIÓTIPO DE *Amaranthus palmeri* IDENTIFICADO NO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL

Resumo

Considerando-se a importância de *A. palmeri* para a agricultura mundial, bem como sua recente identificação no Brasil, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o crescimento e o desenvolvimento do biótipo brasileiro de caruru palmer em condição não-competitiva. Para tanto, três experimentos semelhantes foram realizados em casa-de-vegetação, avaliando-se a fenologia das plantas e o acúmulo de matéria seca (parte aérea, raízes e total). Em cada experimento, foram realizadas oito avaliações de crescimento, espaçadas em 12 dias, iniciadas aos 28 dias após semeadura (DAS), totalizando ciclo médio de 105. Com os dados de matéria seca total, calcularam-se o crescimento absoluto e relativo. O biótipo brasileiro de *A. palmeri* teve rápido desenvolvimento fenológico, com o início da emissão de inflorescências aos 50 DAS. A fenologia da espécie teve ajuste linear conforme equação $y = 0,8866.x$. Em média, o máximo de matéria seca acumulado foi de 45 g planta⁻¹, com pico de crescimento absoluto aos 60 DAS. Em conclusão, os parâmetros de crescimento obtidos para o biótipo brasileiro de *A. palmeri* foram considerados moderados quando comparado às espécies nacionais de *Amaranthus*, bem como aos dados internacionais de *A. palmeri*.

Palavras-chave: Caruru palmer; Biologia; Fenologia; Manejo integrado; Modelagem

Abstract

Considering the importance of *A. palmeri* to the agriculture of the world, as well as its recent identification in Brazil, this work was developed with the objective of evaluating growth and development of the Brazilian biotype of Palmer amaranth in non-competitive condition. For that, three similar experiments were performed in greenhouse, evaluating plant phenology and accumulation of dry matter (shoot, roots and total). In each trial, eight evaluations of growth were achieved, time spaced in 12 days, initiated at 28 days after seeding (DAS), with average plant cycle of 105 days. With total dry matter data, absolute and relative growth were calculated. Brazilian biotype of *A. palmeri* had fast phenological development, with beginning of flowering at 50 DAS. Species phenology was adjusted to the linear equation $y = 0,8866.x$. In average, the maximum dry matter accumulated was 45 g plant⁻¹, with edge of absolute growth at 60 DAS. In conclusion, growth parameters of the Brazilian biotype of *A. palmeri* were considered moderated when compared to national species of *Amaranthus*, as well as with international data of *A. palmeri*.

Keywords: Palmer amaranth; Biology; Phenology; Integrated management; Modeling

3.1 Introdução

Recentemente, no Brasil, foram identificadas infestações de *Amaranthus palmeri* (caruru palmer) em lavouras de algodão do centro-norte do Estado do Mato Grosso. Trata-se de uma planta daninha de grande importância mundial que nunca antes havia sido identificada no país (ANDRADE JÚNIOR et al., 2015). Em decorrência destas infestações e das falhas de controle relatadas nos campos, foram desenvolvidos experimentos que comprovaram a

resistência do biótipo ao herbicida glyphosate e aos inibidores da ALS, ou seja, resistência múltipla EPSPS-ALS (CARVALHO et al., 2015; GONÇALVES NETTO et al., 2016).

O caruru palmer é originário de regiões áridas do centro sul dos Estados Unidos da América (EUA) e norte do México, e está presente em vários países do mundo. Nos últimos anos, esta espécie se tornou a principal planta daninha do algodoeiro nos EUA, em função de suas características biológicas e da resistência a herbicidas de diferentes mecanismos de ação (NANDULA et al., 2012; WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013). Esta espécie possui semelhanças morfológicas com as espécies de caruru comumente encontradas no Brasil, porém diferencia-se destas por ser dióica, o que significa que, em uma população, parte das plantas terão somente flores femininas (plantas “fêmea”) e outra parte, somente flores masculinas (plantas “macho”) (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; GONÇALVES NETTO et al., 2016).

O hábito de crescimento agressivo e a enorme produção de sementes oferecem às plantas de *Amaranthus* grande competitividade com as culturas por luz, água e nutrientes (CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2008; SILVA et al., 2010; BARROSO et al., 2012). A interferência negativa dos carurus no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas cultivadas varia em função da espécie presente, densidade de infestação e tempo de emergência em relação à cultura (KNEZEVIC; HORAK; VANDERLIP, 1997; CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2008).

Neste sentido, estudos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas fornecem informações sobre os diferentes estádios fenológicos e padrões de crescimento vegetal. Estes 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 (CAMPOS et al., 2012; TAKANO et al., 2016). Ainda, as características de crescimento de determinada espécie oferecem um indicador de sua habilidade competitiva (CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO; CHRISTOFFOLETI, 2008; CAMPOS et al., 2012).

Ressalta-se que crescer é diferente de desenvolver. Enquanto crescer pode ser entendido como aumento irreversível de massa e volume, desenvolver diz respeito à alternância entre sucessivos estádios fisiológicos, com expressão sobre a fenologia da planta. Assim sendo, ao menos em teoria, uma planta é capaz de crescer sem, necessariamente, desenvolver-se e vice-versa (MARQUES et al., 2014; MACHADO et al., 2014). Assim sendo, para estimar o crescimento e o desenvolvimento vegetal, além da descrição das fases

fenológicas, torna-se fundamental a mensuração da massa de matéria seca das diferentes estruturas da planta (ANDRADE et al., 2009; TAKANO et al., 2016).

Para tanto, a utilização de análises de crescimento é um método acessível e preciso para inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos para o crescimento vegetal, possibilitando o conhecimento da cinética de produção de biomassa das plantas, sua distribuição e eficiência ao longo da ontogenia (AUMONDE et al., 2013; LIMA et al., 2015). Tendo em vista a importância de *A. palmeri* na agricultura mundial e sua recente identificação no Brasil, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o crescimento e o desenvolvimento do biótipo brasileiro de caruru palmer em condição não-competitiva.

3.2 Material e Métodos

Três experimentos semelhantes foram desenvolvidos para avaliar o crescimento e o desenvolvimento de *Amaranthus palmeri*. Dois destes foram realizados em casa-de-vegetação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Campus Machado, no município de Machado - MG (21° 40' S, 45° 55' W, 850 m), o primeiro entre novembro de 2014 e fevereiro de 2015 e o segundo janeiro e abril de 2015. O terceiro experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, em Piracicaba – SP (22°42'30"S, 47°38'00"W, 540 m), entre os meses de agosto e dezembro de 2015.

As sementes de *A. palmeri* foram as mesmas utilizadas em pesquisas anteriores desenvolvidas por Carvalho et al. (2015) e Gonçalves Netto et al. (2016), portanto, trata-se de uma população comprovadamente resistente ao herbicida glyphosate e aos inibidores da ALS, coletada no Estado de Mato Grosso, Brasil. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel, em local seco, à temperatura ambiente até o início da instalação dos trabalhos. Em Machado - MG, a semeadura do primeiro experimento ocorreu em 13/11/2014, enquanto a semeadura do segundo experimento ocorreu em 14/01/2015. Em Piracicaba - SP, a semeadura foi realizada em 29/08/2015.

Inicialmente, as sementes de caruru palmer foram colocadas para germinar em caixas plásticas, com capacidade para 2 L, preenchidas somente com substrato comercial (casca de *Pinus* + turfa + vermiculita). No estágio de folhas cotiledonares plenamente expandidas, ou seja, estágio 10 (HESS et al., 1997), as plantas foram transplantadas para os vasos onde permaneceram até o final do experimento.

As parcelas experimentais constaram de vasos plásticos com capacidade para 4,0 L, preenchidos com mistura de substrato comercial, solo argiloso destorroado e peneirado e vermiculita, na proporção de 6:3:1, respectivamente. Todas as parcelas foram fertilizadas com as seguintes doses de nutrientes (mg parcela⁻¹): N a 450; P₂O₅ a 650; K₂O a 600; Ca a 200; S a 195; Mg a 15; Zn a 3; B a 0,6; Fe a 6; Cu a 1,5; Mn a 3 e Mo a 0,6. Aproximadamente aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS), realizou-se adubação complementar com os seguintes nutrientes (mg parcela⁻¹): N a 100; Ca a 40; S a 70; e Mg a 45. Os vasos foram irrigados por sistema de irrigação automatizado, sem a ocorrência de deficiência hídrica ou nutricional.

Os experimentos foram realizados com delineamento experimental de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, em metodologia adaptada de Carvalho, López-Ovejero e Christoffoleti (2008). Durante todo o experimento, foram realizadas oito avaliações de crescimento (tratamentos), espaçadas em 12 dias, exceto para a primeira avaliação que foi realizada aos 28 DAS, totalizando média de 105 dias de ciclo. Em cada data de avaliação, inicialmente, identificou-se a fenologia de toda a população remanescente, utilizando-se a escala proposta por Hess et al. (1997). O estágio fenológico foi definido quando constatou-se determinada característica de desenvolvimento para 50% + 1 do total de plantas remanescentes. Após florescimento, as estruturas reprodutivas foram ensacadas para evitar a dispersão de sementes. No experimento realizado em Piracicaba - SP não foi avaliada a fenologia das plantas.

Em seguida, para cada avaliação, quatro plantas (repetições) foram aleatoriamente amostradas pelo método destrutivo, passaram por lavagem em água corrente, para a retirada do substrato remanescente nas raízes e, em seguida, tiveram suas variáveis analisadas. O material amostrado foi secado em estufa a 70°C por 72h, quando foi mensurada a massa seca (g planta⁻¹) das raízes, da parte aérea e total.

Entende-se que a taxa de crescimento absoluto (G , g dia⁻¹) fornece estimativa da velocidade média de crescimento das plantas ao longo do ciclo de desenvolvimento, enquanto a taxa de crescimento relativo (R , g g⁻¹ dia⁻¹) exprime o crescimento em gramas de matéria seca por unidade de material presente em um período de observação (TSUMANUMA et al., 2010). As espécies que crescem rapidamente e produzem mais área foliar possivelmente serão mais competitivas que as espécies lentas (HORAK; LOUGHIN, 2000; CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO; CHRISTOFFOLETI, 2008).

Assim sendo, com os valores médios da variável massa seca total, pôde-se calcular a taxa de crescimento absoluto e a taxa de crescimento relativo (CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO; CHRISTOFFOLETI, 2008; ANDRADE et al., 2009). A taxa de crescimento

absoluto foi obtida a partir da seguinte fórmula (1):

$$G_M = \frac{Mt_2 - Mt_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Em que Mt_2 e Mt_1 são as massas secas totais de duas amostras sucessivas e t_2 e t_1 são os dias decorridos entre as duas observações. Por sua vez, a taxa de crescimento relativo foi calculada a partir da fórmula:

$$R_M = \frac{\ln Mt_2 - \ln Mt_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Inicialmente, adotou-se técnica de análise por grupo de experimentos, comparando-se a variabilidade dos experimentos por meio do teste de Hartley (PEARSON; HARTLEY, 1956). Em seguida, as análises do desenvolvimento fenológico das plantas foram ajustadas ao modelo linear, conforme adotado por Lima et al. (2015). As variáveis quantitativas, relacionadas com o crescimento das plantas, foram analisadas por meio de regressões não-lineares. As variáveis massa seca das raízes, parte aérea e total foram ajustadas ao modelo de regressão não-linear do tipo logístico, enquanto os dados de crescimento absoluto e relativo foram ajustados a modelos não-lineares exponenciais.

3.3 Resultados e Discussão

Por meio da análise conjunta do desenvolvimento fenológico de *A. palmeri* nos dois experimentos realizados em Machado - MG, constatou-se rápido desenvolvimento fenológico para a espécie (Figura 3.1), com início da emissão de inflorescências aproximadamente aos 56 dias após a semeadura (DAS). Trabalhando com cinco outras espécies de *Amaranthus*, Carvalho, López-Ovejero e Christoffoleti (2008) também constatarem rápido desenvolvimento das plantas, com estruturas reprodutivas visíveis em todas as espécies aos 40 DAS (emissão da inflorescência - estágio 50), com destaque para *A. deflexus* cujo florescimento encontrava-se em estado mais avançado.

Figura 3.1 - Desenvolvimento fenológico das plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento, segundo escala BBCH (HESS et al., 1997). Machado - MG, 2014/15

O desenvolvimento fenológico de *A. palmeri* teve ajuste linear conforme equação $y = 0,8866.x$ (Figura 3.1). Na prática, o parâmetro a desta equação permite estimar a velocidade de desenvolvimento das plantas em determinada época do ano ou data de semeadura (MACHADO et al., 2014; LIMA et al., 2015). Com este modelo de previsão, especula-se que a cada 12 dias após semeadura de *A. palmeri* tem-se desenvolvimento de 10 unidades na escala BBCH (HESS et al., 1997). Esta informação possui importante aplicação prática, pois a melhor eficácia dos herbicidas é alcançada com aplicações sobre plantas jovens. Assim sendo, as pulverizações devem ser realizadas antes dos 30 DAS.

Avaliando o desenvolvimento da tiririca (*Cyperus rotundus*), Lima et al. (2015) também ajustaram a fenologia da espécie ao modelo linear, com $a = 0,8877$. Em contrapartida, o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), por exemplo, teve parâmetro $a = 0,4423$, ou seja, possui desenvolvimento fenológico mais lento (MARQUES et al., 2014). A habilidade de predição de estádios fenológicos, tais como florescimento, desenvolvimento e dispersão de sementes de plantas daninhas pode auxiliar no desenvolvimento das práticas integradas de manejo (CAMPOS et al., 2012; MACHADO et al., 2014).

Quanto ao crescimento, detectou-se a homogeneidade de variância entre os três experimentos, para todas as variáveis quantitativas avaliadas (massa seca de parte aérea, de

raízes e total), o que justificou a análise conjunta dos dados. O acúmulo de massa seca das plantas de *A. palmeri* teve adequado ajuste ao modelo sigmoide, com coeficientes de determinação sempre superiores a 90% (Figuras 3.2, 3.3 e 3.4). Para as variáveis relacionadas ao crescimento das plantas, nota-se ponto de inflexão das curvas próximo aos 60 DAS, momento em que o crescimento é máximo e, em seguida, desacelerado, possivelmente por consequência da diferenciação das flores e frutos (Figuras 3.2, 3.3 e 3.4).

A massa seca total máxima observada para *A. palmeri* foi da ordem de 45 g planta⁻¹, após 100 DAS (Figura 3.4). Estes dados estão abaixo da produção máxima registrada na literatura, em que usualmente são identificados valores de biomassa de *A. palmeri* superiores às demais espécies de *Amaranthus* encontradas no Brasil, tais como *A. retroflexus*, *A. hybridus* e *A. spinosus* (HORAK; LOUGHIN, 2000; GUO; AL-KHATIB, 2003; SELLERS et al., 2003).

Figura 3.2 - Acúmulo de massa seca da parte aérea (g planta⁻¹) por plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Machado - MG / Piracicaba - SP, 2014/15

Figura 3.3 - Acúmulo de massa seca de raízes (g planta^{-1}) por plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Machado - MG / Piracicaba - SP, 2014/15

Figura 3.4 - Acúmulo de massa seca total (g planta^{-1}) por plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Machado - MG / Piracicaba - SP, 2014/15

Sellers et al. (2003), realizaram trabalho comparativo entre seis espécies de *Amaranthus* e observaram maior potencial de crescimento para *A. palmeri*, com acúmulo total de até 800 g planta⁻¹, superior às demais espécies. Por outro lado, Guo e Al-Khatib (2003) observaram produção de biomassa variável entre 18 e 70 g planta⁻¹, por consequência da temperatura em que ocorreu o crescimento das plantas, de 15/10 ou 35/30°C, respectivamente. Horak e Loughin (2000) também encontraram valores variáveis para a biomassa de *A. palmeri*, entre 40 e 120 g planta⁻¹, sob influência do ano experimental e data de semeadura. Esses autores consideram a possibilidade de influência do fotoperíodo sobre a biologia da espécie, devido às mudanças fisiológicas oriundas da indução ao florescimento.

As plantas daninhas do gênero *Amaranthus* possuem ciclo fotossintético do tipo C4 de modo que, dentre os fatores ecológicos, o efeito da temperatura é proeminente e pode influenciar o crescimento e a produtividade das plantas (GUO; AL-KHATIB, 2003). Bond e Oliver (2006), avaliando 24 populações de *A. palmeri* coletadas em diferentes localidades, constataram a existência de ecótipos para a espécie, que possuem comportamento diferencial quanto à razão de área foliar, área foliar específica e taxa assimilatória líquida. Assim sendo, espécies deste gênero podem ter comportamento diferente sob outras condições de temperatura, incluindo-se a possibilidade da existência de diferentes biótipos.

Quanto ao crescimento absoluto da espécie, observou-se comportamento em parábola, com pico aos 60 DAS, resultando em acúmulo máximo de 0,9 g dia⁻¹ (Figura 3.5). O crescimento relativo foi registrado inicialmente com máximo em 0,2 g g⁻¹ dia⁻¹, decrescente com o decorrer do experimento (Figura 3.6). Estes valores são inferiores quando comparados às espécies de *Amaranthus* comumente encontrada no Brasil, as quais alcançaram crescimento absoluto superior a 1,5 g dia⁻¹ e crescimento relativo decrescente a partir de valor médio de 0,3 g g⁻¹ dia⁻¹ (CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO; CHRISTOFFOLETI, 2008).

Figura 3.5 - Crescimento absoluto (g dia⁻¹) de plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Machado - MG / Piracicaba - SP, 2014/15

Figura 3.6 - Crescimento relativo (g g⁻¹ dia⁻¹) de plantas de *Amaranthus palmeri* ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Machado - MG / Piracicaba - SP, 2014/15

Com exceção de *A. deflexus*, as demais espécies tradicionais brasileiras têm registro de crescimento semelhante (*A. spinosus* e *A. viridis*) ou superior (*A. hybridus* e *A. retroflexus*) ao biótipo de *A. palmeri* (CARVALHO; LÓPEZ-OVEJERO; CHRISTOFFOLETI 2008),

resultado que discorda da literatura em que, comumente, *A. palmeri* é a espécie de maior crescimento (HORAK; LOUGHIN, 2000; GUO; AL-KHATIB, 2003; SELLERS et al., 2003).

É possível que o crescimento moderado detectado para o biótipo brasileiro de *A. palmeri*, quando comparado às espécies nacionais e à literatura internacional, seja consequência de sua precoce diferenciação floral, que reduz o crescimento das plantas e direciona os fotoassimilados para flores e frutos. Marques et al. (2014) e Machado et al. (2014) observaram situações semelhantes para capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), respectivamente, que ao florescerem precocemente produzem menos massa de matéria seca; quando o florescimento é atrasado, há maior tempo para crescimento, resultando em maior acúmulo de matéria seca.

Ainda, o menor crescimento do biótipo brasileiro de *A. palmeri* também pode ser consequência da manifestação de resistência ao herbicida glyphosate. Segundo Heap (2016), o primeiro caso de *A. palmeri* resistente ao glyphosate nos Estados Unidos da América foi registrado em 2005, o que sugere que os trabalhos citados anteriormente foram desenvolvidos com biótipos suscetíveis. Além do confronto das datas, não há menção de uso de biótipos resistentes ao glyphosate nos trabalhos encontrados (HORAK; LOUGHIN, 2000; GUO; AL-KHATIB, 2003; SELLERS et al., 2003).

Até o momento, acredita-se que a resistência dos biótipos de *A. palmeri* ao herbicida glyphosate esteja relacionada à superprodução enzimática, resultante, também, da amplificação genômica do gene da EPSPs (GAINES et al., 2010; MOHSENI-MOGHADAM; SHROEDER; ASHIGH, 2013). Potencialmente, especula-se que uma planta que emprega mais energia na superexpressão de uma única enzima pode ter menor disponibilidade de aminoácidos para síntese de outras proteínas e enzimas, que são componentes vitais do organismo, resultando em maior demanda geral de nitrogênio, ou seja, seriam plantas menos eficientes quanto ao uso do nitrogênio. Assim sendo, em um suposto ambiente de menor disponibilidade nutricional, sobretudo quando ao nitrogênio, esta deficiência pode resultar em plantas com menor desenvolvimento comparativo, menor porte e produção de massa de matéria seca. Esta condição também pode ser constatada nas observações de campo onde, em geral, encontram-se plantas de menor porte, ainda menos desenvolvidas que em casa-de-vegetação.

3.4 Conclusões

O biótipo brasileiro de *A. palmeri* teve rápido desenvolvimento fenológico, com início de emissão de inflorescências aos 50 dias após semeadura; o desenvolvimento fenológico de *A. palmeri* teve ajuste linear conforme equação $y = 0,8866.x$; o biótipo teve acúmulo máximo de 45 g planta⁻¹, com pico de crescimento absoluto aos 60 DAS; o crescimento da espécie foi considerado moderado quando comparado às espécies nacionais de *Amaranthus*, bem como aos dados internacionais de *A. palmeri*.

Referências

- ANDRADE, C.A.B.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; MARTORELLI, D.T. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.683-688, 2009.
- ANDRADE JUNIOR, E.R.; CAVENAGHI, A.L.; GUIMARÃES, S.C.; CARVALHO, S.J.P. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).
- AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARGINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.31, n.1, p.99-108, 2013.
- BARROSO, A.A.M.; YAMAUTI, M.S.; NEPOMUCENO, M.P.; ALVES, P.L.C.A. Efeito da densidade e da distância de caruru-de-mancha e amendoim-bravo na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.30, n.1, p.47-53, 2012.
- BOND, J.A.; OLIVER, L.R. Comparative growth of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions. **Weed Science**, Lawrence, v.54, n.1, p.121-126, 2006.
- CAMPOS, L.H.F.; MELO, M.S.C.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Crescimento inicial de *Merremia cissoides*, *Neonotonia wightii* e *Stizolobium aterrimum*. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.30, n.3, p.497-504, 2012.
- CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Competition of *Amaranthus* species with dry bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.3, p.239-245, 2008.
- 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.

CARVALHO, S.J.P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A.L.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.33, n.3, p.579-586, 2015.

GAINES, T.A.; ZHANG, W.; WANG, D.; BUKUN, B.; CHISHOLM, S.T.; SHANER, D.L.; NISSEN, S.J.; PATZOLDT, W.L.; TRANEL, P.J.; CULPEPPER, A.S.; GREY, T.L.; WEBSTER, T.M.; VENCILL, W.K.; SAMMONS, R.D.; JIANG, J.; PRESTON, C.; LEACH, J.E.; WESTRA, P. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **PNAS**, Washington, v.107, n.3, p.1029-1034, 2010.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; BORGATO, E.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicide in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.34, n.3, p.581-587, 2016.

GUO, P.; AL-KHATIB, K. Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*). **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.6, p.869-875, 2003.

HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>. Acessado em: 06 de novembro de 2016.

HESS, M.; BARRALIS, G.; BLEIHOLDER, H.; BUHRS, L.; EGGERS, T.H.; HACK, H.; STAUSS, R. Use of the extended BBCH scale - general for descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. **Weed Research**, Oxford, v. 37, n. 6, p. 433-441, 1997.

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.

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

LIMA, R.S.O.; MACHADO, E.C.R.; SILVA, A.P.P.; MARQUES, B.S.; GONÇALVES, M.F.; CARVALHO, S.J.P. Growth and development of purple nutsedge based on days or thermal units. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.33, n.2, p.165-173, 2015.

MACHADO, E.C.R.; LIMA, R.S.O.; SILVA, A.P.P.; MARQUES, B.S.; GONÇALVES, M.F.; CARVALHO, S.J.P. Initial growth and development of southern sandbur based on thermal units. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.32, n.2, p.335-343, 2014.

MARQUES, B.S.; SILVA, A.P.P.; LIMA, R.S.O.; MACHADO, E.C.R.; GONÇALVES, M.F.; CARVALHO, S.J.P. Growth and development of sourgrass based on days or thermal units. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.32, n.3, p.483-490, 2014.

MOHSENI-MOGHADAM, M.; SHROEDER, J.; ASHIGH, J. Mechanism of resistance and inheritance in glyphosate resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations from New Mexico, USA. **Weed Science**, Lawrence, v.61, n.4, p.517-525, 2013.

NANDULA, V.K.; REDDY, K.N.; KOGER, C.H.; POSTON, D.H.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O.; BOND, J.A.; RIBEIRO, D.N. Multiple resistance to glyphosate and pyriithiobac in palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mississippi and response to flumiclorac. **Weed Science**, Lawrence, v.60, n.2, p.179-188, 2012.

PEARSON, E.S.; HARTLEY, H.O. **Biometrika tables for statisticians**. Cambridge: The University Press, 1956. 238p.

SELLERS, B.A.; SMEDA, R.J.; JOHNSON, W.G.; KENDIG, J.A.; ELLERSIECK, M.R. Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.3, p.329-333, 2003.

SILVA, B.P.; CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; SOUZA, M.C.; MAGÁRIO, F.B. Interferência de caruru-de-mancha, maria-pretinha, picão-preto e tiririca em tomateiro industrial. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.313-318, 2010.

TAKANO, H.K.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G.B.P.; PADOVESE, J.C. Growth, development and seed production of goosegrass. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.34, n.2, p.249-257, 2016.

TSUMANUMA, G.M.; CARVALHO, S.J.P.; FANCELLI, A.L.; BERNARDES, M.S.; RODRIGUES, M.A.T.; BEGLIOMINI, E. Crescimento de dois cultivares de soja submetidos a aplicações de herbicidas e fungicidas. **Revista Ceres**, Viçosa - MG, v.57, n.6, p.742-750, 2010.

WARD, S.M.; WEBSTER, T.M.; STECKEL, L.E. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n.1, p.12-27, 2013.

WEBSTER, T.M.; NICHOLS, R.L. Changes in the prevalence of weed species in the major agronomic crops of the southern United States: 1994/1995 to 2008/2009. **Weed Science**, Lawrence, v.60, n.2, p.145-147, 2012.

4 RESISTÊNCIA DE *Amaranthus palmeri* AO HERBICIDA GLYPHOSATE EM ÁREAS AGRÍCOLAS DO ESTADO DE MATO GROSSO, BRASIL

Resumo

A recente identificação de biótipos de *Amaranthus palmeri* em áreas agrícolas brasileiras compromete o sistema tradicional de manejo de plantas daninhas, sobretudo por haver a possibilidade de se tratar de biótipo resistente ao herbicida glyphosate. Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a suscetibilidade ao herbicida glyphosate de um biótipo de *A. palmeri* coletado no estado de Mato Grosso, Brasil. Para validar as pulverizações e permitir comparações, foram avaliados três biótipos distintos de *Amaranthus*: *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado do Rio Grande do Sul; *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado de São Paulo; e *A. palmeri*, coletado no estado do Mato Grosso. Para todos os biótipos, foram realizados experimentos de curva dose-resposta, considerando-se oito doses do herbicida glyphosate e seis repetições. Todos os experimentos foram repetidos duas vezes. Os biótipos de *A. hybridus* foram adequadamente controlados pelo glyphosate, exigindo doses iguais ou inferiores a 541,15 g ha⁻¹ para obter 80% de controle (DL₈₀). O biótipo de *A. palmeri* não foi controlado pelo herbicida glyphosate em nenhuma das avaliações, sempre exigindo doses superiores a 4.500 g ha⁻¹ para obtenção de DL₈₀, o que é absolutamente inviável econômica e ambientalmente. Comparando-se o biótipo de *A. palmeri* com os biótipos de *A. hybridus*, bem como com os padrões da literatura científica internacional, pode-se concluir com segurança tratar-se de biótipo resistente ao herbicida glyphosate.

Palavras chave: Caruru palmer; Suscetibilidade; Dose-resposta; Manejo; Controle

Abstract

Recent identification of *Amaranthus palmeri* biotype in Brazilian agricultural areas compromises the traditional system of weed management, especially if considering the possibility of this being a glyphosate-resistant biotype. Therefore, this work was developed with the objective of evaluating glyphosate susceptibility of a palmer amaranth biotype collected in the state of Mato Grosso, Brazil. For validating the sprayings and allowing comparisons, three different biotypes of *Amaranthus* were evaluated: *A. hybridus* var. *patulus*, collected in the state of Rio Grande do Sul; *A. hybridus* var. *patulus*, collected in the state of São Paulo; and *A. palmeri*, collected in the state of Mato Grosso. For all biotypes, dose response experiments were performed, considering eight glyphosate rates and six replicates. All the experiments were repeated twice. *A. hybridus* biotypes were perfectly controlled by glyphosate, demanding rates equal to or lower than 541.15 g ha⁻¹ for 80% of control (LD₈₀). The biotype of *A. palmeri* was not controlled with glyphosate in any of the assessments, always requiring rates greater than 4,500 g ha⁻¹ to reach LD₈₀, which are unacceptable economically and environmentally. Comparing the biotypes of *A. palmeri* and *A. hybridus*, as well as the standards of the scientific literature, one can safely conclude that Brazilian *A. palmeri* biotype is also resistant to glyphosate.

Keywords: Pigweeds; Susceptibility; Dose-response; Management; Control

4.1 Introdução

No mundo, existem cerca de 60 espécies de plantas classificadas no gênero *Amaranthus* (carurus) e aproximadamente 10 destas têm importância como plantas daninhas em lavouras brasileiras (KISSMANN; GROTH, 1999; SENNA, 2015). Os carurus estão presentes em grande parte das áreas agrícolas do país e, dentre as espécies mais comuns, podem-se destacar: *A. deflexus* (caruru-rasteiro), *A. hybridus* (caruru-roxo), *A. lividus* (caruru-folha-de-cuia), *A. retroflexus* (caruru-gigante), *A. spinosus* (caruru-de-espinho) e *A. viridis* (caruru-de-mancha) (CARVALHO et al., 2006).

Quando infestam culturas agrícolas, os carurus podem ser caracterizados como plantas de difícil manejo, devido ao extenso período de germinação do banco de sementes, rápido crescimento e desenvolvimento, elevada produção de sementes viáveis, longa viabilidade de suas sementes no solo e dificuldade na identificação das diferentes espécies no campo, sobretudo quando a aplicação dos herbicidas é mais necessária (HORAK; LOUGHIN, 2000; CARVALHO, 2015). Ainda, as plantas do gênero *Amaranthus* possuem anatomia de Kranz (FERREIRA et al., 2003), típica de espécies com ciclo fotossintético do tipo C4, o que lhes proporciona eficiência na produção de carboidratos em ambientes quentes e secos, principalmente quando comparadas a culturas tipicamente C3, como a soja, o feijão e o algodão (CARVALHO, 2015).

O hábito de crescimento agressivo e a enorme produção de sementes oferecem às plantas de *Amaranthus* grande competitividade com as culturas por luz, água e nutrientes (GUO; AL-KHATIB, 2003; SILVA et al., 2010; BARROSO et al., 2012). A interferência negativa dos carurus no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas cultivadas varia em função da espécie presente, densidade de infestação e tempo de emergência em relação à cultura (KLINGAMAN; OLIVER, 1994; KNEZEVIC; HORAK; VANDERLIP, 1997).

No Brasil, recentemente, a problemática relativa ao gênero *Amaranthus* foi agravada devido à identificação de uma nova espécie infestante em áreas agrícolas do estado de Mato Grosso, o caruru palmer (*Amaranthus palmeri* (S.) Wats.) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2015). Ao contrário das espécies comumente encontradas em território brasileiro, *A. palmeri* é uma planta dióica, nativa da América do Norte, sendo atualmente reconhecida como uma das plantas daninhas mais problemáticas nas áreas agrícolas dos Estados Unidos, particularmente na cultura do algodão (NEVE et al., 2011; SOSNOSKIE et al., 2011; WEBSTER; GREY, 2015). Em ausência de competição, uma planta de *A. palmeri* pode produzir 446 mil

sementes. Em competição com a cultura do algodão, a produção de sementes foi 30% menor, ou seja, 312 mil sementes, o que ainda é um valor extremamente alto (WEBSTER; GREY, 2015).

Comparado a outras espécies do gênero *Amaranthus*, o caruru palmer tem hábito de crescimento mais agressivo e é, portanto, extremamente competitivo com as culturas, mesmo em baixas densidades populacionais (ROWLAND; MURRAY; VERHALEN, 1999; MASSINGA et al., 2001). A alta capacidade competitiva desta planta daninha pode ser comprovada pelo trabalho desenvolvido por Morgan, Baumann e Chandler (2001). Quando em competição com *A. palmeri*, estes autores observaram 45% de redução no volume da copa da cultura de algodão, dez semanas após a emergência. Na maior densidade de infestação, a redução na biomassa foi superior a 50%, oito semanas após emergência. A produtividade do algodoeiro, por sua vez, foi reduzida de forma linear entre 13% e 54% devido ao aumento da densidade de plantas de caruru de 1 para 10 plantas, em 9,1 metros lineares de cultura.

Trata-se, portanto, de uma espécie de enorme importância agrícola. Ainda, no mundo, atualmente, existem 49 casos reportados de biótipos de *A. palmeri* resistentes a herbicidas, de diversos mecanismos de ação, considerando-se, inclusive, casos de resistência múltipla (HEAP, 2016). A hipótese de o biótipo brasileiro ser resistente a herbicidas foi abordada por Andrade Júnior et al. (2015), porém esta conclusão ainda necessita de confirmação científica. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a suscetibilidade ao herbicida glyphosate de um biótipo de *Amaranthus palmeri* coletado no estado de Mato Grosso, Brasil.

4.2 Material e Métodos

Todo o trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Câmpus Machado – MG (21° 40' S; 45° 55' W; 850 m de altitude), entre novembro de 2014 e maio de 2015. No total, seis experimentos foram realizados para avaliar a suscetibilidade de biótipos de *Amaranthus* ao herbicida glyphosate, todos fundamentados em protocolo tradicional, conforme discutido por Carvalho, Christoffoleti e López-Ovejero, (2009). Foram considerados três biótipos distintos de *Amaranthus*: *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado do Rio Grande do Sul (AMAHY - RS); *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado de São Paulo (AMAHY - SP); e *A. palmeri*, coletado no estado do Mato Grosso (AMAPA - MT) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2015).

Inicialmente, as sementes de cada biótipo foram distribuídas em excesso em bandejas com capacidade para 2 L, preenchidas com substrato comercial. Após a emergência das plântulas, estas foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade para 1 L, preenchidos com mistura de substrato comercial, solo argiloso peneirado e vermiculita, na proporção de 6:3:1, respectivamente; em densidade média de oito plantas por vaso. A mistura foi devidamente fertilizada com macro e micronutrientes. Adicionalmente, 30 dias após os transplantes, realizou-se adubação de cobertura com nitrato de cálcio (0,5 g por vaso) e sulfato de magnésio (0,25 g por vaso). As parcelas foram mantidas sob irrigação automatizada, sem deficiência hídrica.

Para avaliar a suscetibilidade dos biótipos ao herbicida glyphosate (Roundup Original®), foram considerados experimentos independentes para cada biótipo, em delineamento de blocos ao acaso, com oito doses de herbicida e seis repetições. Para os biótipos de *A. hybridus*, as doses de glyphosate utilizadas foram (g e.a. ha⁻¹): 2880, 1440, 720, 360, 180, 90, 45 e testemunha sem aplicação. Para *A. palmeri*, as doses utilizadas foram (g e.a. ha⁻¹): 23080, 11520, 2880, 1440, 720, 360, 90 e testemunha sem aplicação. Todos os experimentos foram repetidos duas vezes.

As pulverizações foram realizadas em ambiente protegido sobre plantas com, em média, seis folhas definitivas. Para tanto, foi utilizado pulverizador costal experimental, pressurizado por CO₂, acoplado à barra de aplicação com ponta única e jato do tipo leque, XR 110.02, distanciada à 0,50 m da superfície do alvo, calibrado para volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹.

Em todos os experimentos, foram realizadas avaliações de controle percentual das plantas aos 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA). Para tanto, adotou-se escala percentual arbitrária com variação entre zero e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100% representou a morte de todas as plantas. Aos 28 DAA, também foi mensurada a massa seca residual das plantas. Para tanto, todo o material vegetal remanescente nos vasos foi colhido rente à superfície do substrato e secado em estufa com circulação forçada de ar, regulada para 70°C, por 72 horas. Posteriormente, a massa seca foi ajustada para condição percentual, considerando-se a testemunha de cada bloco como 100% de massa.

Todos dados foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância. Para o mesmo biótipo, os experimentos repetidos foram analisados conforme metodologia de grupo de experimentos. Em seguida, os dados quantitativos (curvas dose-resposta), foram ajustados a modelos de regressão não-linear do tipo logístico, propostos por Streibig (1988) (controle percentual (3)) e Seefeldt, Jensen e Fuerst (1995) (massa seca residual (4)):

$$y = \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c\right]} \quad (3)$$

$$y = P_{\min} + \frac{a}{\left[1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c\right]} \quad (4)$$

Em que: y é o controle percentual ou a massa seca residual, x é a dose do herbicida (g ha^{-1}), $P_{\min}$ é o ponto mínimo da curva; e a , b , e c são parâmetros estimados da equação, de tal forma que a é a amplitude existente entre o ponto máximo e o ponto mínimo da variável; b é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e c é a declividade da curva ao redor de b .

O modelo logístico possui vantagens, pois um dos termos integrantes da equação (b) é uma estimativa do valor de DL_{50} ou GR_{50} (CHRISTOFFOLETI, 2002). A DL_{50} (dose letal para 50% da população) ou GR_{50} (redução de crescimento em 50%) é a dose do herbicida, em gramas do ingrediente ativo por hectare, que proporciona o valor de 50% de controle ou de redução de crescimento da planta daninha (CHRISTOFFOLETI, 2002). Embora um dos parâmetros do modelo logístico (b) seja uma estimativa do valor de DL_{50} e GR_{50} , optou-se por também realizar o cálculo matemático dessa estimativa, bem como para a estimativa de DL_{80} e GR_{80} , por meio da equação inversa, com base na discussão proposta por Carvalho et al. (2005).

4.3 Resultados e Discussão

As infestações de *Amaranthus palmeri* identificadas no Estado de Mato Grosso, Brasil, foram os primeiros relatos nacionais da presença desta espécie de planta daninha (ANDRADE JÚNIOR et al., 2015), restringindo sobremaneira a possibilidade de coleta de sementes de outras populações da mesma espécie. Assim sendo, para validar as discussões, realizou-se também revisão bibliográfica de trabalhos internacionais que quantificaram valores de DL_{50} ou GR_{50} de biótipos reconhecidamente suscetíveis ao herbicida glyphosate (Tabela 4.1). Neste sentido, foram encontrados valores de DL_{50} ou GR_{50} variáveis entre 30 e 150 g ha^{-1} , com média geral calculada em 105,2 g ha^{-1} .

O uso de modelos matemáticos do tipo logístico proporcionou perfeito ajuste do conjunto de dados, com elevada adequação do modelo (teste F) e coeficientes de

determinação sempre superiores a 97% (Tabela 4.2). Neste sentido, observou-se excelente controle dos dois biótipos de *A. hybridus* submetidos à aplicações do herbicida glyphosate, com valores semelhantes de DL_{50} ou GR_{50} . Para *A. hybridus*, o maior valor de DL_{80} foi de 541,15 g ha⁻¹, observado para o biótipo coletado no Rio Grande do Sul, na avaliação de controle realizada aos 14 DAA. Assim sendo, os biótipos de *A. hybridus* foram considerados plenamente suscetíveis ao produto, visto que a recomendação usual de dose é de 720 g ha⁻¹ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). A avaliação dos biótipos de *A. hybridus* tem grande importância para a discussão dos dados obtidos para *A. palmeri*, pois valida a qualidade da pulverização e consequente eficácia obtida.

Tabela 4.1 - Nível de suscetibilidade ao herbicida glyphosate de populações de *Amaranthus palmeri* disponível na literatura científica internacional, estimada por curvas de dose-resposta.

Autores	Local	Estádio de Aplicação	Avaliação	Resultado ¹
Culpepper et al., 2006	Georgia - EUA	7 - 10 cm	20 DAA ²	$DL_{50} = 150$ g ha ⁻¹ $GR_{50} = 90$ g ha ⁻¹
Norsworthy et al., 2008a ³	Arkansas - EUA	5 - 7 folhas	28 DAA	$DL_{50} = 30$ g ha ⁻¹
Norsworthy et al., 2008b ³	Arkansas - EUA	5 - 7 folhas	28 DAA	$DL_{50} = 114$ g ha ⁻¹
Sosnoskie et al., 2011	Georgia - EUA	10 - 15 cm	3 - 4 semanas	$DL_{50} = 91$ g ha ⁻¹
Nandula et al., 2012	Mississippi - EUA	4 - 6 folhas	3 semanas	$GR_{50} = 90$ g ha ⁻¹
Mohseni-Moghadam et al., 2013	Novo México - EUA	3 - 4 folhas	16 DAA	$GR_{50} = 66$ g ha ⁻¹
Valor Médio Geral ³				105,2 g ha ⁻¹

¹Resultado expresso em gramas de glyphosate (equivalente ácido) necessários para obter 50% de controle da população (DL_{50}) ou para obter 50% de redução na massa de matéria seca (GR_{50}); ²DAA - dias após aplicação;

³Valor médio entre as populações suscetíveis.

Tabela 4.2 - Variáveis avaliadas, parâmetros do modelo logístico¹, teste F, coeficiente de determinação (R²) e dose letal (DL) ou de redução de crescimento (GR) para a suscetibilidade de biótipos de *Amaranthus* ao herbicida glyphosate. Machado - MG, 2015

Variável		Parâmetros				F	R²	DL ou GR	
		P _{mín}	a	b	c			50	80
Amaranthus hybridus - Biótipo coletado no Rio Grande do Sul									
Controle	14 DAA²	--	102,332	242,422	-1,589	747,31*	0,997	235,57	541,15
	21 DAA	--	99,954	238,843	-1,948	219,69*	0,989	238,96	487,18
	28 DAA	--	99,632	251,886	-1,997	232,12*	0,989	252,82	509,01
Massa Seca (%)		4,540	97,395	137,137	1,976	271,14*	0,995	146,70	318,92
Amaranthus hybridus - Biótipo coletado em São Paulo									
Controle	14 DAA	--	101,505	207,534	-1,826	2754,60*	0,999	204,19	426,14
	21 DAA	--	101,700	189,621	-1,980	1029,20*	0,997	186,45	366,49
	28 DAA	--	101,138	170,545	-1,701	2284,46*	0,998	168,30	372,95
Massa Seca (%)		4,349	97,595	142,011	2,481	760,59*	0,998	149,60	276,77
Amaranthus palmeri - Biótipo coletado no Mato Grosso									
Controle	14 DAA	--	104,310	1900,068	-1,181	682,16*	0,993	1771,59	5209,45
	21 DAA	--	104,259	1773,982	-1,189	233,82*	0,979	1656,12	4839,41
	28 DAA	--	105,188	1599,662	-1,107	238,58*	0,979	1463,18	4543,73
Massa Seca (%)		16,529	86,797	977,986	1,185	144,11*	0,986	1448,85	14294,36

¹ $y = a/(1+(x/b)^c)$ ou $y = P_{\min} + a/(1+(x/b)^c)$; ²DAA - Dias após aplicação; * Significativo a 1% de probabilidade.

O biótipo de *A. palmeri*, por sua vez, não foi controlado com as doses comerciais do herbicida glyphosate, em nenhuma das avaliações ou variáveis (Tabela 4.2). Aos 14 DAA, foram necessários 1.771,59 g ha⁻¹ de glyphosate para se obter apenas 50% de controle. A diferença entre o padrão de controle obtido para os biótipos de *A. hybridus* e *A. palmeri*, aos 14 e 21 DAA, pode ser facilmente visualizada graficamente (Figura 4.1), com destaque para o eixo x, que possui escala logarítmica. A significativa diferença no padrão de controle se mantém também para as avaliações realizadas aos 28 DAA (Figura 4.2). Nesta data avaliação, por exemplo, foram necessários 14.294,36 g ha⁻¹ de glyphosate para promover 80% de redução da massa seca das plantas (Tabela 4.2); dose esta considerada absolutamente inviável em termos econômicos e ambientais.

Figura 4.1 - Controle percentual de biótipos de *Amaranthus*, submetidos a diferentes doses do herbicida glyphosate, avaliado aos 14 e 21 dias após aplicação (DAA). AMAHY-RS - *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado do Rio Grande do Sul; AMAHY-SP - *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado de São Paulo; AMAPA-MT - *A. palmeri*, coletado no estado do Mato Grosso. Machado - MG, 2015

Figura 4.2 - Controle percentual e massa de matéria seca de biótipos de *Amaranthus*, submetidos a diferentes doses do herbicida glyphosate, avaliados aos 28 dias após aplicação (DAA). AMAHY-RS - *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado do Rio Grande do Sul; AMAHY-SP - *A. hybridus* var. *patulus*, coletado no estado de São Paulo; AMAPA-MT - *A. palmeri*, coletado no estado do Mato Grosso. Machado - MG, 2015

O primeiro caso mundial de biótipos de *A. palmeri* resistente ao herbicida glyphosate foi documentado por Culpepper et al. (2006), que estudaram um biótipo coletado no estado da Georgia (EUA). Neste trabalho, encontraram valores de DL_{50} de 150 g ha⁻¹ de glyphosate para controle do biótipo suscetível (Tabela 4.1) e valores de DL_{50} superiores a 1.200 g ha⁻¹ para controle do biótipo resistente. Para obtenção de controle pleno do biótipo resistente com

glyphosate, estes autores reportaram a necessidade de doses de 7.200 g ha^{-1} ; dose esta inferior a que foi necessária para obtenção de DL_{80} do biótipo brasileiro.

De forma semelhante, estudando um biótipo resistente de *A. palmeri* coletado no estado do Arkansas (EUA), Norsworthy et al. (2008a) encontraram valores de DL_{50} de 2.820 g ha^{-1} de glyphosate. Ainda, para o mesmo biótipo, foram necessários 12.500 g ha^{-1} de glyphosate para obter DL_{95} , que foi considerada 15 vezes superior à dose usual para controle da espécie. Avaliando população resistente de *A. palmeri* também coletada na Georgia (EUA), Sosnoskie et al. (2011), por sua vez, encontraram DL_{50} e GR_{50} de $1.449,6$ e $1.439,6 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate, respectivamente; resultados estes muito semelhantes aos encontrados para o biótipo de *A. palmeri* coletado no estado de Mato Grosso (Tabela 4.2).

Assim sendo, três aspectos relevantes devem ser destacados: i. segundo os trabalhos internacionais, são necessárias pequenas doses de glyphosate para controle de biótipos suscetíveis de *A. palmeri*, inferiores a 150 g ha^{-1} (Tabela 4.1); ii. o excelente controle obtido para os biótipos de *A. hybridus* valida as pulverizações realizadas com glyphosate; iii. os valores de DL_{50} e GR_{50} encontrados na literatura internacional para os biótipos resistentes estão em concordância com aqueles obtidos neste trabalho (Tabela 4.2). Assim sendo, pode-se supor com adequada segurança que o biótipo coletado no estado de Mato Grosso também é resistente ao herbicida glyphosate. Esta afirmação tem importante aplicação prática pois, além de agravar a problemática da identificação da espécie em território nacional, exige que os métodos de controle e manejo sejam readequados a esta situação, incluindo o uso de herbicidas alternativos ao glyphosate, tanto em pré como em pós-emergência.

Para a ciência, o próximo passo a ser executado é avaliar o possível mecanismo de resistência que este biótipo possui. Em geral, a maioria dos casos registrados de resistência a herbicidas em espécies de *Amaranthus* está relacionada com alteração no local de ação dos herbicidas inibidores do fotossistema II e ALS (DIAS; MENDES; INOUE, 2015); porém, aparentemente, esta não é a explicação para resistência ao herbicida glyphosate. Em síntese, ainda não há consenso sobre os mecanismos que conferem resistência ao herbicida glyphosate em biótipos de *A. palmeri*. De fato, os trabalhos científicos publicados até o momento sugerem a existência de distintos mecanismos de resistência encontrados nos diferentes biótipos (WARD; WEBSTER; STECKEL 2013). Em experimentos laboratoriais, Culpepper et al. (2006) não observaram diferenças entre os biótipos quanto à absorção e translocação do glyphosate, contudo não detectaram acúmulo de shikimato nos tecidos do biótipo resistente tratado com glyphosate.

Em experimento mais recente, com população coletada no estado do Mississippi (EUA), Nandula et al. (2012) não encontraram diferenças quanto ao metabolismo do glyphosate entre biótipos de *A. palmeri* resistente e suscetível a este herbicida. Contudo, os biótipos resistentes absorveram menos glyphosate 48 horas após tratamento, quando comparados ao biótipo suscetível. Ainda, observaram que o biótipo suscetível acumulou mais glyphosate nos ramos e folhas localizados acima da folha tratada, que contém o meristema apical; enquanto os biótipos resistentes acumularam mais glyphosate nos ramos e folhas localizados abaixo das folhas tratadas. Para os biótipos resistentes em questão, os autores atribuíram as possíveis causas da resistência à redução na absorção e translocação da molécula de glyphosate. Por outro lado, Mohseni-Moghadam et al. (2013) avaliaram biótipo de *A. palmeri* coletado no estado do Novo México (EUA) e concluíram que a resistência do biótipo ao glyphosate se deve à amplificação na expressão da EPSPs, o que não havia sido mencionado anteriormente.

4.4 Conclusões

Comparando-se o biótipo de *A. palmeri* com os biótipos de *A. hybridus*, bem como com os padrões da literatura científica internacional, pode-se concluir com segurança tratar-se de biótipo resistente ao herbicida glyphosate. Assim sendo, as práticas de manejo de plantas daninhas devem ser revistas considerando-se a inclusão de métodos alternativos de controle, tais como herbicidas de diferentes mecanismos de ação, uso de pré-emergentes e rotação de culturas, além do monitoramento constante das áreas infestadas.

Referências

- ANDRADE JUNIOR, E.R.; CAVENAGHI, A.L.; GUIMARÃES, S.C.; CARVALHO, S.J.P. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).
- BARROSO, A.A.M.; YAMAUTI, M.S.; NEPOMUCENO, M.P.; ALVES, P.L.C.A. Efeito da densidade e da distância de caruru-de-mancha e amendoim-bravo na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.30, n.1, p.47-53, 2012.
- CARVALHO, S.J.P., LOMBARDI, B. P.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MEDEIROS, D. Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.23, n.3, p.535-542, 2005.

CARVALHO, S.J.P.; BUISSA, J. A. R.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Suscetibilidade diferencial de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* aos herbicidas trifloxysulfuron-sodium e chlorimuron-ethyl. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.24, n.3, p.541-548, 2006.

CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Métodos para a comprovação da resistência de plantas daninhas a herbicidas. In.: AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Berthier: Passo Fundo, 2009. p.103-122.

CARVALHO, S.J.P. Características biológicas de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. In.: INOUE, M.H.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; MENDES, K.F.; CONSTANTIN, J. **Manejo de Amaranthus**. São Carlos: RiMa, 2015. p.21-36.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.513-519, 2002.

CULPEPPER, A.S.; GREY, T. L.; VENCILL, W. K.; KICHLER, J. M.; WEBSTER, T. M.; BROWN, S. M.; YORK, A. C.; DAVI, J. W.; HANNA, W. W. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. **Weed Science**, Lawrence, v.54, n.4, p.620-626, 2006.

DIAS, A.C.R.; MENDES, K.F.; INOUE, M.H. Resistência de espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* no mundo e no Brasil. In.: INOUE, M.H.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; MENDES, K.F.; CONSTANTIN, J. **Manejo de Amaranthus**. São Carlos: RiMa, 2015. p.105-118.

FERREIRA, E. A.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M.; SILVA, A. A.; RUFINO, R. J. N. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil. IV - *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus spinosus*, *Alternanthera tenella* e *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.21, n.2, p.263-271, 2003.

GUO, P.; AL-KHATIB, K. Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*). **Weed Science**, Lawrence, v. 51, n. 6, p. 869-875, 2003.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 18 de novembro de 2016.

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

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 palmeri*) 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.

MASSINGA, R. A.; CURRIE, R. S.; HORAK, M. J.; BOYER, J. Interference of Palmer amaranth in corn. **Weed Science**, Lawrence, v.49, n.2, p.202-208, 2001.

MOHSENI-MOGHADAM, M.; SCHROEDER, J.; HEEREMA, R.; ASHIGH, J. Resistance to glyphosate in palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations from New Mexico pecan orchards. **Weed Technology**, Lawrence, v.27, n.1, p.85-91, 2013.

MORGAN, G.D.; BAUMANN, P.A.; CHANDLER, J.M. Competitive impact of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) on cotton (*Gossypium hirsutum*) development and yield. **Weed Technology**, Lawrence, v.15, n.3, p.408-412, 2001.

NANDULA, V. K.; REDDY, K. N.; KOGER, C. H.; POSTON, D. H.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O.; BOND, J. A.; RIBEIRO, D. N. Multiple resistance to glyphosate and pyriithiobac in palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mississippi and response to flumiclorac. **Weed Science**, Lawrence, v.60, n.2, p.179-188, 2012.

NEVE, P.; NORSWORTHY, J. K.; SMITH, K. L.; ZELAYA, I. A. Modeling glyphosate resistance management strategies for palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in cotton. **Weed Technology**, Lawrence, v.25, n.3, p.335-343, 2011.

NORSWORTHY, J. K.; GRIFFITH, G. M.; SCOTT, R. C.; SMITH, K. L.; OLIVER, L. R. Confirmation and control of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Arkansas. **Weed Technology**, Lawrence, v.22, n.1, p.108-113, 2008a.

NORSWORTHY, J. K.; SCOTT, R. C.; SMITH, K. L.; OLIVER, L. R. Response to northeastern Arkansas palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions to glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v.22, n.3, p.408-413, 2008b.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. Londrina: autores, 2011. 697p.

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

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

SENNA, L.R. Identificação de espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* L. (Amaranthaceae Juss.) no Brasil. In.: INOUE, M.H.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; MENDES, K.F.; CONSTANTIN, J. **Manejo de Amaranthus**. São Carlos: RiMa, 2015. p.1-20.

SILVA, B. P.; CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; SOUZA, M. C.; MAGÁRIO, F. B. Interferência de caruru-de-mancha, maria-pretinha, picão-preto e tiririca em tomateiro industrial. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.313-318, 2010.

SOSNOSKIE, L. M.; KICHLER, J. M.; WALLACE, R. D.; CULPEPPER, A. S. Multiple resistance in palmer amaranth to glyphosate and pyriithiobac confirmed in Georgia. **Weed Science**, Lawrence, v.59, n.3, p.321-325, 2011.

STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, Oxford, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.

WARD, S.M.; WEBSTER, T.M.; STECKEL, L.E. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n.1, p.12-27, 2013.

WEBSTER, T.M.; GREY, T.L. Glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) morphology, growth, and seed production in Georgia. **Weed Science**, Lawrence, v.63, n.1, p.264-272, 2015.

5 RESISTÊNCIA MÚLTIPLA AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS E EPSPS DE *Amaranthus palmeri* RESISTENTE AO GLYPHOSATE NO ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a suscetibilidade do biótipo brasileiro de *A. palmeri*, resistente ao herbicida glyphosate, a herbicidas inibidores da ALS de diferentes grupos químicos. Para tanto, quatro experimentos foram realizados, um com cada um dos seguintes herbicidas: glyphosate, chlorimuron-ethyl, cloransulan-methyl e imazethapyr. Em cada experimento, os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 2 x 8, em que duas foram as espécies de *Amaranthus* (*A. palmeri* e *A. spinosus*) e oito foram as doses de herbicida (16D, 8D, 2D, 4D, D, 1/2D, 1/4D e ausência do herbicida; sendo D a dose comercial recomendada de cada produto). Para glyphosate, D = 720 g e.a. ha⁻¹; para chlorimuron-ethyl, D = 20 g ha⁻¹; para cloransulan-methyl, D = 30 g ha⁻¹; para imazethapyr, D = 100 g ha⁻¹. Não foi aplicado glyphosate sobre *A. spinosus*. Em todos os experimentos, a população brasileira de *A. palmeri* teve baixíssima suscetibilidade aos herbicidas, de modo que pôde-se afirmar, com elevado grau de segurança, tratar-se de população com resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ALS. Ainda, considerando-se somente os inibidores da ALS, trata-se de população com resistência cruzada às sulfoniluréias - triazolopirimidinas - imidazolinonas.

Palavras-chave: Caruru palmer; Dose-resposta; Manejo; Controle

Abstract

This work was carried out in order to evaluate ALS-inhibiting herbicides susceptibility of the Brazilian biotype of glyphosate-resistant *A. palmeri*, considering different chemical groups. For that, four experiments were performed, each with one of the following herbicides: glyphosate, chlorimuron-ethyl, cloransulan-methyl and imazethapyr. In each trial, treatments were organized according to a 2x8 factorial scheme, which two were the species of *Amaranthus* (*A. palmeri* and *A. spinosus*) and eight were the herbicide rates (16D, 8D, 4D, 2D, D, 1/2D, 1/4D and herbicide absence; being D the commercial rate of each product). For glyphosate, D = 720 g a.e. ha⁻¹; for chlorimuron-ethyl, D = 20 g ha⁻¹; for cloransulan-methyl, D = 30 g ha⁻¹; for imazethapyr, D = 100 g ha⁻¹. Glyphosate was not applied on *A. spinosus*. In all the trials, Brazilian population of *A. palmeri* had very low susceptibility to herbicides, in way that it was possible to conclude, with high degree of confidence, this population has ALS-EPSPs multiple resistance. Therefore, considering only ALS-inhibiting herbicides, this population has sulfonilurea-triazolopyrimidine-imidazolinone cross resistance.

Keywords: Palmer amaranth; Dose-response; Management; Control

5.1 Introdução

Dentre as plantas daninhas mais comumente encontradas na agricultura destacam-se aquelas classificadas no gênero *Amaranthus* (carurus), representado por cerca de 60 espécies, em que aproximadamente 20 destas possuem importância como plantas daninhas

(KISSMANN; GROTH, 1999). No Brasil, existem cerca de 10 espécies deste gênero que têm importância agrícola, destacando-se: *A. deflexus* (caruru-rasteiro), *A. hybridus* (caruru-roxo), *A. lividus* (caruru-folha-de-cuia), *A. retroflexus* (caruru-gigante), *A. spinosus* (caruru-de-espinho) e *A. viridis* (caruru-de-mancha) (CARVALHO et al., 2008).

As espécies de ocorrência no Brasil são de ciclo de vida anual, reproduzidas exclusivamente por sementes e, de modo geral, de difícil diferenciação visual entre as espécies. Uma planta de grande porte pode produzir mais de 200.000 sementes (KISSMANN; GROTH, 1999; LORENZI, 2000). Nas áreas agrícolas, podem ser consideradas como plantas de difícil manejo devido ao extenso período de emergência, rápido crescimento e longa viabilidade de seu banco de sementes (HORAK; LOUGHIN, 2000).

Competem com as culturas agrícolas por água, luz e nutrientes; reduzem a quantidade e a qualidade do produto colhido; e, principalmente as espécies de grande porte, interferem nos procedimentos de colheita (KLINGAMAN; OLIVER, 1994; KNEZEVIC et al., 1997; ROWLAND et al., 1999; CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2008).

Contudo, recentemente, Andrade Junior et al. (2015) identificaram a espécie de caruru *A. palmeri* pela primeira vez no Brasil, na região do núcleo algodoeiro Centro-Norte do estado de Mato Grosso, em áreas normalmente cultivadas com rotação das culturas de algodão, soja e milho. O *A. palmeri* é originário de regiões áridas do centro sul dos Estados Unidos da América (EUA) e norte do México, e está presente em vários países do mundo. Nos últimos anos, esta espécie se tornou a principal planta daninha do algodoeiro nos EUA, em função de suas características biológicas e da resistência a herbicidas de diferentes sítios de ação (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Trata-se de uma espécie dióica, o que significa que, em uma população, parte das plantas terão somente flores femininas (plantas “fêmea”) e outra parte, somente flores masculinas (plantas “macho”). Essa é uma característica que facilita a identificação de *A. palmeri*, uma vez que todas as outras espécies de caruru já identificadas no Brasil têm flores masculinas e femininas na mesma planta, sendo classificadas como monóicas. As sementes são produzidas somente nas plantas com flores femininas, mas há um detalhe importante e agravante da reprodução da espécie: flores femininas podem produzir sementes mesmo sem a ocorrência de polinização (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Carvalho et al. (2015), em trabalho realizado para verificação de suscetibilidade de *A. palmeri* ao herbicida glyphosate, população a qual também foi utilizada neste trabalho, constataram que se tratava de uma população resistente, exigindo doses superiores a 4.500 g e.a. ha⁻¹ para alcançar DL₈₀, as quais são inviáveis econômica e ambientalmente.

Nos EUA, além do glyphosate, há relatos de populações de *A. palmeri* resistentes a outros mecanismos de ação, tais como: inibidores da ALS, inibidores da HPPD (HPPD), inibidores da síntese de tubulina (mitose) e inibidores do fotossistema II (FSII). O manejo dessas populações se torna ainda mais complexo, sobretudo para as populações com resistência múltipla, a qual já foi relatada para dois ou três desses mecanismos de ação: ALS/glyphosate; ALS/glyphosate/FSII e ALS/FSII/HPPD (BECKIE; TARDIF, 2012; WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; HEAP, 2016). Além das fronteiras dos EUA, já foram relatados biótipos de *A. palmeri* com resistência a inibidores da ALS em Israel (HEAP, 2016) e da EPSPs na Argentina (MORICHETTI et al., 2013).

Os herbicidas inibidores da ALS podem ser utilizados em pré e pós-emergência no controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate no Brasil (NICOLAI et al., 2008). Da mesma forma, herbicidas deste mecanismo de ação vem sendo utilizados com sucesso no controle de *A. palmeri* resistente a glyphosate nos EUA (WISE et al., 2009; MOHSENI-MOGHADAM et al., 2013), o que, possivelmente, também poderia ser uma alternativa de controle da planta daninha *A. palmeri* resistente no Brasil.

Assim sendo, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a suscetibilidade do biótipo brasileiro de *A. palmeri*, considerado resistente a glyphosate, a herbicidas inibidores da ALS de diferentes grupos químicos.

5.2 Material e Métodos

Quatro experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, no município de Piracicaba, São Paulo (22° 42'S; 47° 37' W; 545 m de altitude), entre os meses de agosto e novembro de 2015. Simultaneamente, foram avaliadas duas populações de caruru, sendo uma de *A. palmeri* e outra de *A. spinosus* (suscetível). As sementes de *A. palmeri* foram as mesmas utilizadas na pesquisa desenvolvida por Carvalho et al. (2015), portanto, trata-se de uma população comprovadamente resistente ao glyphosate, enquanto que as sementes de *A. spinosus* utilizadas foram coletadas no Estado do Mato Grosso.

Para instalação do experimento, as sementes foram distribuídas em excesso em caixas plásticas retangulares com capacidade para 2,0 L de substrato, preenchidas com proporção de substrato comercial (casca de *Pinus*, turfa e vermiculita) e vermiculita (3:1; v:v). No estágio de desenvolvimento vegetativo de folhas cotiledonares plenamente expandidas, ou seja, estágio 10 (HESS et al., 1997), as plântulas foram transplantadas para vasos com capacidade

de 1,0 L, preenchidos com a mesma mistura de substrato, onde permaneceram até o término do experimento, em densidade média de três plantas por vaso. Durante o experimento, as parcelas foram mantidas sem deficiência hídrica para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A suscetibilidade das populações foi quantificada por meio de curvas de dose-resposta. Todos os experimentos foram instalados com delineamento experimental de blocos ao acaso e cinco repetições. Para cada herbicida estudado (Tabela 5.1), os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 2 x 8, em que duas foram as espécies de *Amaranthus* (*A. palmeri* e *A. spinosus*) e oito foram as doses de herbicida, a saber: 16D, 8D, 4D, 2D, D, 1/2D, 1/4D e ausência do herbicida; sendo D a dose comercial recomendada de cada produto (Tabela 5.1). Não foi aplicado glyphosate sobre *A. spinosus*.

As pulverizações foram realizadas sobre plantas em estágio de 3 a 4 pares de folhas. Para tanto, foi utilizado pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a barra com duas pontas do tipo TeeJet 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹.

Tabela 5.1 - Herbicidas e doses utilizados na realização dos experimentos. Piracicaba - SP, 2015

Herbicida	Nome comercial	¹ Dose comercial (g ou L ha ⁻¹)	g i.a. ha ⁻¹
Glyphosate	Roundup [®]	2,0	960
Chlorimuron-ethyl	Classic [®]	80,0	20
Cloransulan-methyl	Pacto [®]	35,7	30
Imazethapyr	Pivot [®]	1,0	100

¹Rodrigues & Almeida (2011)

Aos 28 dias após aplicação (DAA), foi avaliado o controle percentual, bem como a massa seca residual das parcelas. O controle foi avaliado utilizando-se escala percentual variável entre zero e 100, em que zero foi atribuído no caso da ausência de sintomas causados pelo herbicida e 100% para a morte das plantas. A massa vegetal foi obtida a partir da colheita do material vegetal remanescente nas parcelas, com posterior secagem em estufa a 70°C por

72 horas. A massa seca foi corrigida para valores percentuais por meio da comparação da massa obtida nos tratamentos herbicidas com a massa da testemunha, considerada 100%.

A análise dos dados foi realizada por meio da aplicação do teste F na análise da variância. A variável controle (3) foi ajustada ao modelo logístico proposto por Streibig (1988):

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c} \quad (3)$$

Em que: y = porcentagem de controle; x = dose do herbicida; e a , b e c = parâmetros da curva, de modo que a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, b é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e c é a declividade da curva.

Para a variável massa seca residual (4), foi adotado o modelo proposto por Seefeldt, Jensen e Fuerst (1995):

$$y = Pmín + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c} \quad (4)$$

Em que: y = quantificação da massa; x = dose do herbicida; e a , b , c e d = parâmetros da curva, de modo que a é o limite inferior da curva, b é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, c é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e d é a declividade da curva.

O modelo logístico possui vantagens uma vez que um dos termos integrantes da equação (c) é uma estimativa do valor de DL_{50} ou de GR_{50} (CHRISTOFFOLETI, 2002). O DL_{50} (dose letal para 50% da população) e o GR_{50} (redução de crescimento de 50%) são as doses do herbicida que proporcionam 50% de controle ou de redução de massa da planta daninha, respectivamente (CHRISTOFFOLETI, 2002; CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2004). Embora um dos parâmetros do modelo logístico seja uma estimativa do valor de DL_{50} , também foi realizado seu cálculo matemático por meio da equação inversa, conforme discussão proposta por Carvalho et al. (2005).

5.3 Resultados e Discussão

Foi detectada baixíssima sensibilidade da população de *Amaranthus palmeri* a todos os herbicidas avaliados. Em alguns casos, não foi possível discriminar as doses necessárias

para obter 50% de controle ou de redução da massa seca. Esta dificuldade foi ainda mais frequente para obtenção das doses de 80% de controle ou de redução da massa seca (Tabela 5.2).

A população de *A. palmeri* avaliada tem reconhecida resistência ao herbicida glyphosate (CARVALHO et al., 2015), que foi novamente evidenciada neste trabalho. Considerando-se controle percentual ou massa seca, foi necessária dose média de 8.500 g ha⁻¹ de glyphosate para obtenção de DL₅₀ ou GR₅₀. Não foi possível estimar a dose necessária para obtenção de DL₈₀ ou GR₈₀, visto que a demanda foi superior à maior dose utilizada nos experimentos (Tabela 5.2; Figura 5.1).

Estes valores corroboram o relato de resistência da população ao herbicida glyphosate e justificam a necessidade de avaliar herbicidas alternativos para controle desta espécie, como os inibidores da ALS. No mundo, atualmente, existem 50 casos reportados de biótipos de *A. palmeri* resistentes a herbicidas, de diversos mecanismos de ação, considerando-se, inclusive, casos de resistência múltipla envolvendo herbicidas inibidores da EPSPs-ALS (HEAP, 2016).

Tabela 5.2 - Variáveis avaliadas (controle percentual aos 28 DAA¹ ou massa seca), parâmetros do modelo logístico², coeficiente de determinação (R²) e dose letal (DL) ou de redução de crescimento (GR) para a suscetibilidade de populações de *Amaranthus* a diferentes herbicidas. Piracicaba - SP, 2015

Espécie	Variável	Parâmetros				R²	DL ou GR	
		Pmín	a	b	c		50	80
Glyphosate								
A. palmeri	28 DAA	---	107,769	9301,508	-1,428	0,977	8406,76	> 11.520
	M. Seca	12,353	76,048	8538,133	4,042	0,941	8580,12	> 11.520
Chlorimuron-ethyl								
A. palmeri	28 DAA	---	108,694	214,342	-1,022	0,991	183,22	> 320
	M. Seca	-6,347	105,855	189,195	0,542	0,912	232,08	> 320
A. spinosus	28 DAA	---	98,422	1,674	-1,101	0,977	1,72	6,35
	M. Seca	5,491	94,583	4,313	0,831	9,950	4,97	33,69
Cloransulan-methyl								
A. palmeri	28 DAA	---	179,262	5445,886	-0,486	0,958	> 480	> 480
	M. Seca	10,672	66,253	906,970	3,066	0,891	> 480	> 480
A. spinosus	28 DAA	---	94,701	1,942	-1,381	0,986	2,11	6,62
	M. Seca	-0,671	101,419	4,310	0,302	0,882	4,33	< 7,5
Imazethapyr								
A. palmeri	28 DAA	---	123,272	1716,888	-0,669	0,983	969,75	> 1600
	M. Seca	1,159	87,019	1787,977	1,048	0,927	1342,13	> 1600
A. spinosus	28 DAA	---	100,157	11,069	-1,957	0,985	11,05	22,39
	M. Seca	14,848	85,637	10,920	1,386	0,975	14,18	79,34

¹DAA - Dias após aplicação; ² $y = a/(1+(x/b)^c)$ ou $y = P_{mín} + a/(1+(x/b)^c)$.

A baixa sensibilidade de *A. palmeri* a herbicidas foi evidente também para os inibidores da ALS, sobretudo após comparação com a espécie *A. spinosus*, que teve altíssima suscetibilidade e validou adequadamente as pulverizações (Tabela 5.2). No caso de chlorimuron-ethyl, por exemplo, menos de 10 g ha⁻¹ foram suficientes para obter controle de *A. spinosus* superior a 80%. Porém, no caso de *A. palmeri*, não foi possível estimar DL₈₀ ou GR₈₀, visto que a demanda foi superior a 320 g ha⁻¹ de chlorimuron. Ou seja, *A. spinosus* possui alta sensibilidade à molécula enquanto *A. palmeri* é insensível ao mesmo herbicida, considerando-se doses comerciais e mesmas condições de pulverização (Tabela 5.2; Figura 5.2).

Figura 5.1 - Controle percentual e massa seca de *Amaranthus palmeri* (AMAPA) submetido a diferentes doses do herbicida glyphosate, avaliado aos 28 dias após aplicação (DAA). Piracicaba - SP, 2015

Figura 5.2 - Controle percentual e massa seca de *Amaranthus palmeri* (AMAPA) e *A. spinosus* (AMASP) submetidos a diferentes doses do herbicida chlorimuron-ethyl, avaliado aos 28 dias após aplicação (DAA). Piracicaba - SP, 2015

Wise et al. (2009), em estudo realizado com populações de *A. palmeri* de 30 locais diferentes do estado da Geórgia (EUA), obtiveram controle satisfatório quando utilizaram 13 g ha^{-1} deste herbicida, alcançando redução de massa de 64% em relação a testemunha sem tratamento.

O mesmo padrão de resposta se manteve para cloransulan-methyl e imazethapyr, observando-se elevada suscetibilidade de *A. spinosus* e baixíssima sensibilidade de *A. palmeri* (Figuras 5.3 e 5.4). Em relato anterior, Andrade Júnior et al. (2015) comentam sobre a baixa

sensibilidade da população de *A. palmeri* ao herbicida glyphosate e, também, aos inibidores da ALS. Os autores consideram a possibilidade de resistência múltipla glyphosate - ALS, porém ainda sem comprovação científica.

As espécies *A. palmeri* e *A. spinosus* compartilham um mesmo ancestral comum, mais do que outras espécies de caruru, uma vez que possuem o mesmo número de cromossomos ($2n=34$), similaridades morfológicas do grão-de-pólen (FRANSSEN et al., 2001) e semelhanças no tamanho do genoma (RAYBURN et al., 2005). Além disso, *A. palmeri* e *A. spinosus* foram classificados como irmãos pela análise da taxa filogenética, visto que todas as outras taxas estudadas para outras espécies de *Amaranthus* foram excluídas, o que indica que outras espécies de caruru são mais distantes de *A. palmeri* e *A. spinosus* (WASSOM; TRANEL, 2005; RIGGINS et al., 2010).

No presente trabalho, foram avaliados diferentes herbicidas inibidores da ALS, incluindo-se três grupos químicos distintos: sulfoniluréia (chlorimuron-ethyl), triazolopirimidina (cloransulan-methyl) e imidazolinona (imazethapyr). Nenhum destes herbicidas foi capaz de controlar adequadamente a população de *A. palmeri*. Não foi possível, ao menos, estimar DL_{80} ou GR_{80} , mesmo utilizando-se doses 16 vezes superiores à recomendação comercial dos produtos (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), evidenciando altíssima insensibilidade às moléculas (Tabela 5.2; Figuras 5.2, 5.3 e 5.4).

Figura 5.3 - Controle percentual e massa seca de *Amaranthus palmeri* (AMAPA) e *A. spinosus* (AMASP) submetidos a diferentes doses do herbicida cloransulan-methyl, avaliado aos 28 dias após aplicação (DAA). Piracicaba - SP, 2015

Figura 5.4 - Controle percentual e massa seca de *Amaranthus palmeri* (AMAPA) e *A. spinosus* (AMASP) submetidos a diferentes doses do herbicida imazethapyr, avaliado aos 28 dias após aplicação (DAA). Piracicaba - SP, 2015

No Brasil, até o momento, não foi detectada população de *A. palmeri* suscetível ao herbicida glyphosate ou aos inibidores da ALS, de modo a permitir a comparação científica dos valores de DL₅₀ e GR₅₀. Porém, de posse dos valores identificados na Tabela 5.2, pode-se afirmar com elevado grau de segurança, tratar-se de população com resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ALS. Ainda, considerando-se somente os inibidores da ALS, trata-se de população com resistência cruzada entre sulfoniluréias - triazolopirimidinas - imidazolinonas.

Neste sentido, devem-se evitar recomendações de herbicidas fundamentadas em inibidores da EPSPs e ALS para controle de *A. palmeri* identificado em áreas do Mato Grosso. Neste caso, novas alternativas de manejo devem ser avaliadas, incluindo-se inibidores dos fotossistemas I e II, mimetizadores de auxinas, inibidores da PROTOX e inibidores da síntese de carotenóides.

5.4 Conclusões

Conclui-se que a população estudada apresenta resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ALS. Ainda, considerando-se somente os inibidores da ALS, trata-se de população com resistência cruzada entre sulfoniluréias - triazolopirimidinas - imidazolinonas.

Referências

- ANDRADE JUNIOR, E.R.; CAVENAGHI, A.L.; GUIMARÃES, S.C.; CARVALHO, S.J.P. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).
- BARBER, L. T.; SMITH, K. L.; SCOTT, R. C.; NORSWORTHY, J. K.; VANGILDER, A. M. **Zero tolerance**: A community-based program for glyphosate resistant Palmer amaranth management. University of Arkansas, Division of Agriculture. FactSheet FSA2177, 2015. Disponível em: <http://www.uaex.edu/publications/pdf/FSA2177.pdf>> Acesso em: 17 de novembro de 2016.
- BECKIE, H.; TARDIF, F.J. Herbicide cross resistance in weeds. **Crop Protection**, Guildford, v.35, n.1, p.15-28, 2012.
- CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A. L.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.33, n.3, p.579-586, 2015.
- 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.
- CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Competition of *Amaranthus* species with dry bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.3, p.239-245, 2008.
- CARVALHO, S. J. P.; LOMBARDI, B. P.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; MEDEIROS, D. Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.23, n.3, p.535-542, 2005.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.3, p.513-519, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no Mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3. ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2008. p.3-22.

FRANSSEN, A. S.; SKINNER, D. Z.; AL-KHATIB, K.; HORAK, M. J. Pollen morphological differences in *Amaranthus* species and interspecific hybrids. **Weed Science**, Lawrence, v.49, n.6, p.732-737, 2001.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 17 de novembro de 2016.

HESS, M., BARRALIS, G.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; EGGERS, T.; HACK, H.; STAUSS, R. Use of the extended BBCH scale - general for descriptions of the growth stages of mono-and dicotyledonous weed species. **Weed Research**, Oxford, v.37, n.6, p.433-441, 1997.

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

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

KLINGAMAN, T.E.; OLIVER, L.R. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interference in soybeans (*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.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2000. 608p.

MOHSENI-MOGHADAM, M.; SCHROEDER, J.; HEEREMA, R.; ASHIGH, J. Resistance to glyphosate in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations from New Mexico pecan orchards. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 1, p. 85-91, 2013.

MORICHETTI, S.; CANTERO, J. J.; NÚÑEZ, C.; BARBOZA G. E.; ESPINAR, L. A.; AMUCHASTEGUI, A.; FERREL, J. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina Botánica**, Córdoba, v. 48, n.2, p.347-354, 2013.

NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS (Grupo B). In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.) **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3. ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), p.35-41, 2016.

RAYBURN, A. L.; McCLOSKEY, R.; TATUM, T. C.; BOLLERO, G. A.; JESCHKE, M. R.; TRANEL, P. J. Genome size analysis of weedy *Amaranthus* species. **Crop Science**, Madison, v. 45, n.6, p.2557–2562, 2005.

RIGGINS, C. W., PENG, Y.; STEWART JR, C. N.; TRANEL, P. J. Characterization of “*de novo*” transcriptome for waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for studies of herbicide target-site genes. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 66, n. 10, p.1042–1052, 2010.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: Autores, 2011. 697p.

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

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, Oxford, v.28, n.6, p.479-484, 1988.

WARD, S. M.; WEBSTER, T. M.; STECKEL, L. E. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): A Review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013.

WASSOM, J. J.; TRANEL, P. J. Amplified fragment length polymorphism-based genetic relationships among weedy *Amaranthus* species. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 96, n.4, p.410–416, 2005.

WISE, A. M.; GREY, T. L.; PROSTKO E. P.; VENCILL, W. K.; WEBSTER, T. M. Establishing the geographical distribution and level of acetolactate synthase resistance of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions in Georgia. **Weed Technology**, Lawrence, v. 23, n. 2, p. 214-220, 2009.

6 HERBICIDAS ALTERNATIVOS PARA CONTROLE PÓS-EMERGENTE DE *Amaranthus palmeri* RESISTENTE AOS INIBIDORES DA EPSPS E ALS

Resumo

Dois experimentos distintos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação com o objetivo de avaliar alternativas de herbicidas pós-emergentes para controle do caruru palmer (*Amaranthus palmeri*) identificado no Estado de Mato Grosso, Brasil. Em cada experimento, foi avaliada uma população de caruru, sendo uma oriunda do município de Tapurah e outra do município de Ipiranga do Norte, ambas do Estado do Mato Grosso. Para cada população, avaliaram-se dois estádios fenológicos para aplicação, sendo 2 a 4 folhas e 6 a 8 folhas. Os tratamentos herbicidas pós-emergentes utilizados foram (g ha^{-1}): fomesafen a 125 e 250; lactofen a 84 e 168; flumiclorac a 40 e 70; atrazina a 1500; mesotrione + atrazina a 120 + 1500; tembotrione + atrazina a 75,6 + 1500; amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400, bem como a testemunha sem aplicação. Todos os herbicidas testados foram alternativas eficazes para o manejo de caruru palmer, com exceção de lactofen e flumiclorac nas menores doses, no estádio de 6 a 8 folhas. O estádio mais avançado de desenvolvimento promove maior dificuldade de controle. Ambas as populações avaliadas possuem suscetibilidade semelhante aos herbicidas.

Palavras-chave: Manejo; Caruru palmer; Resistência; Controle

Abstract

Two distinct experiments were developed in greenhouse in order to evaluate post-emergence alternative herbicides for controlling Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) identified in the State of Mato Grosso, Brazil. In each trial, one distinct population of Palmer amaranth was evaluated, being one collected in the municipality of Tapurah and other in Ipiranga do Norte, both in the State of Mato Grosso. For each population, two phenological stages were considered, 2-4 leaves and 6-8 leaves. Post-emergence herbicide treatments were (g ha^{-1}): fomesafen at 125 and 250; lactofen at 84 and 168; flumiclorac at 40 and 70; atrazine at 1,500; mesotrione + atrazine at 120 + 1,500; tembotrione + atrazine at 75.6 + 1,500; ammonium-glufosinate at 400 and paraquat at 400, as well as check plots without herbicide spraying. All the herbicides tested were efficient alternatives to chemical management of Palmer amaranth, with exception to lactofen and flumiclorac at the lower rates, applied on plants with 6-8 leaves. Most advanced phenological stage promotes higher difficulty of control. Both populations have similar susceptibility to herbicides.

Keywords: Management; Palmer amaranth; Resistance; Control

6.1 Introdução

Identificada pela primeira vez no Brasil no ano de 2015, em áreas de cultivo de algodão no Estado do Mato Grosso (ANDRADE JÚNIOR et al., 2015), a planta daninha caruru palmer (*Amaranthus pameri*) é tema de importantes debates acerca de seu potencial impacto

negativo sobre as culturas não só desta região, como de todo o país. Trata-se de uma planta resistente ao herbicida glyphosate (CARVALHO et al., 2015), bem como também aos herbicidas inibidores da ALS (GONÇALVES NETTO et al., 2016), especulando-se se a mesma poderia ainda ser resistente também a outros mecanismos de ação e, assim, quais alternativas de controle eficientes restariam para o manejo da mesma.

As espécies de caruru com ocorrência no Brasil possuem ciclo de vida anual, reproduzidas exclusivamente por sementes e, de modo geral, de difícil diferenciação visual entre as espécies (LORENZI, 2014; LORENZI, 2008; KISSMANN; GROTH, 1999). *A. palmeri* é uma espécie de planta daninha oportunista e competitiva por excelência, com alta fecundidade, germinação e crescimento rápidos, capacidade fenotípica e plasticidade fenológica que permitem a produção de sementes em condições diferentes. Estudos realizados nos Estados Unidos mostram que *A. palmeri* pode produzir entre 600.000 e 2 milhões de sementes por planta e as mesmas podem levar de 3 a 8 dias para germinarem (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

Nos EUA, além do glyphosate, há relatos de populações de *A. palmeri* resistentes a outros mecanismos de ação, tais como: Inibidores da síntese de tubulinas (K_1), ALS (A) e HPPD (F_2) (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; HEAP, 2016). O manejo das populações de caruru palmer resistentes a herbicidas torna-se ainda mais complexo, sobretudo para as populações com resistência múltipla, cujos relatos envolveram dois ou três mecanismos de ação: ALS/glyphosate; ALS/glyphosate/FSII e ALS/FSII/HPPD (BECKIE; TARDIF, 2012; WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013; HEAP, 2016). Além das fronteiras dos EUA, já foram relatados biótipos de caruru palmer com resistência a inibidores da ALS em Israel (HEAP, 2016) e a glyphosate na Argentina (MORICHETTI et al., 2013).

O impacto da falta de controle de caruru palmer, seja por manejo ineficiente ou pelo fato das plantas serem resistentes a algum tipo de herbicida, em qualquer tipo de cultura pode ser devastador. Essas perdas de produtividade podem chegar a 91% na cultura do milho, 65% no algodão, 68% no sorgo, 79% na soja, 68% no amendoim e 94% na batata-doce (WARD; WEBSTER; STECKEL, 2013).

O manejo integrando para o controle de caruru palmer é essencial visto tratar-se de uma planta extremamente agressiva, podendo chegar a crescer de 5 a 7 cm por dia, além da já citada capacidade de produzir grandes quantidades de sementes que germinam rapidamente, o que justifica mais estudos sobre estratégias a longo prazo, visando, principalmente, evitar que o caruru palmer se torne resistente a outros herbicidas além de glyphosate e dos inibidores da ALS no Brasil.

Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia de herbicidas pós-emergentes utilizados nas culturas da soja, milho e algodão, sobre a planta daninha caruru palmer (*Amaranthus pameri*), em dois estádios fenológicos, considerando-se duas populações provenientes do Estado do Mato Grosso, Brasil.

6.2 Material e Métodos

Dois experimentos independentes foram desenvolvidos em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, no município de Piracicaba, São Paulo (22° 42'S; 47° 37' W; 545 m de altitude), entre os meses de outubro e dezembro de 2015. As sementes de *A. palmeri* foram as mesmas utilizadas nas pesquisas desenvolvidas por Carvalho et al. (2015) e Gonçalves Netto et al. (2016), portanto, trata-se de uma população comprovadamente resistente ao glyphosate e aos herbicidas inibidores da ALS. Em cada experimento, foi avaliada uma população diferente de *A. palmeri*. As sementes das populações foram coletadas nos municípios de Tapurah - MT e Ipiranga do Norte - MT.

Para cada população, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram organizados segundo esquema fatorial 12 x 2, em que 12 foram os tratamentos herbicidas (Tabela 6.1) e dois foram os estádios de desenvolvimento da planta daninha no momento da pulverização (de duas a quatro folhas e de seis a oito folhas).

Para instalação dos experimentos, as sementes foram distribuídas em excesso em caixas plásticas retangulares com capacidade para 2,0 L de substrato, preenchidas com proporção de substrato comercial (casca de *Pinus*, turfa e vermiculita) e vermiculita (3:1; v:v). No estádio de folhas cotiledonares plenamente expandidas, ou seja, estádio 10 (HESS et al., 1997), as plântulas foram transplantadas para vasos com capacidade de 1,0 L, preenchidos com a mesma mistura de substrato, onde permaneceram até o término do experimento, em densidade média de três plantas por vaso. Durante o experimento, as parcelas foram mantidas sem deficiência hídrica para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A aplicação dos herbicidas foi efetuada com auxílio de um pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a barra com duas pontas do tipo jato plano, TeeJet 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹. Os dados referentes às datas das aplicações, horários, temperatura, umidade relativa do ar e vento médio durante as aplicações dos herbicidas encontram-se representados na Tabela 6.2.

Tabela 6.1 - Tratamentos herbicidas pós-emergentes utilizados nos experimentos para controle de caruru palmer, incluindo-se as respectivas doses de equivalente ácido, ingrediente ativo e produto comercial. Piracicaba - SP, 2015

Produto comercial (p.c.)	Ingrediente ativo (i.a.)	Dose	
		i.a. (g ha ⁻¹)	p.c. (L ha ⁻¹)
01. Testemunha	-		
02. Flex*	Fomesafen	125	0,5
03. Flex*	Fomesafen	250	1,0
04. Drible*	Lactofen	84	0,35
05. Drible*	Lactofen	168	0,7
06. Radiant*	Flumiclorac	40	0,4
07. Radiant*	Flumiclorac	70	0,6
08. Gesaprim 500 SC*	Atrazina	1500	3,0
09. Callisto + Proof*	Mesotrione + ATZ ¹	120 + 1500	0,25 + 3,0
10. Soberan + Proof*	Tembotrione + ATZ ¹	75,6 + 1500	0,18 + 3,0
11. Finale*	Amônio Glufosinato	400	2,0
12. Gramoxone*	Paraquat	400	2,0

¹ atrazina; *Adição de Áureo a 0,5 % v/v.

Tabela 6.2 - Data, horário e condições meteorológicas das aplicações nos experimentos para controle de caruru palmer. Piracicaba - SP, 2015

Data	Horário	T ¹ (°C)	U.R. ² (%)	V ³ (km h ⁻¹)	Céu
22/10/2015	09:30 - 09:50	27,9	72,8	5,4 a 7,1	aberto
29/10/2015	09:20 - 09:50	28,9	75,6	4,7 a 6,8	aberto

¹temperatura média do ar; ²umidade relativa média do ar; ³velocidade do vento média na aplicação.

Aos 28 dias após aplicação (DAA), avaliou-se o controle percentual obtido com os herbicidas. Para tanto, foi utilizada escala percentual de notas, variáveis entre zero e 100%, em que zero representou a ausência de controle e 100% representou a morte das plantas (SBCPD, 1995). Em seguida, todo o material vegetal remanescente nos vasos foi coletado e submetido à secagem por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60°C, de forma a se obter a massa de matéria seca das parcelas.

Em seguida, os dados foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância. Quando significativa, a interação foi decomposta e os fatores de tratamentos (herbicidas e estádios fenológicos) foram comparados segundo o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974). Todos os testes foram realizados considerando-se 5% como nível de significância.

6.3 Resultados e Discussão

A maioria dos tratamentos herbicidas utilizados para o controle da planta daninha caruru palmer (*Amaranthus palmeri*) foi eficaz e conseguiu eliminar as plantas obtidas a partir da população oriunda de Tapurah, no Estado do Mato Grosso, conforme Tabela 6.3.

No estágio de 2 a 4 folhas, todos os herbicidas adotados foram viáveis para controle dessa população. No estágio de 6 a 8 folhas, por sua vez, os tratamentos viáveis foram (g ha^{-1}): fomesafen a 250, lactofen a 168, atrazina a 1.500, mesotrione + atrazina a 120 + 1.500, tembotrione + atrazina a 75,6 + 1.500, amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400. Foram ineficazes os herbicidas (g ha^{-1}): fomesafen a 125, lactofen a 84 e flumiclorac a 40 e 70.

Para Oliveira Júnior, Constantin e Inoue (2011) os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas daninhas são mais sensíveis aos herbicidas pós-emergentes que os estádios mais avançados. No caso de caruru palmer, Klingman, King e Oliver (1992) citam a importância de se atingir esta espécie de planta daninha com os herbicidas pós-emergentes antes dos 5 cm de altura.

A relação entre acúmulo de massa seca e controle foi muito linear o que se pode notar nos tratamentos de controle acima de 80%, considerados assim viáveis (FRANS et al., 1986), e os respectivos dados de massa seca (g). Para os tratamentos herbicidas onde não foi observado controle satisfatório, os valores de massa seca foram diferentes do observado para testemunha sem aplicação, contudo certamente indicam plantas com potencial para se recuperar, continuar vegetando e produzindo sementes conseqüentemente (Tabelas 6.3 e 6.4).

Em relação à população oriunda de Ipiranga do Norte (MT), o nível de controle (Tabela 6.4) se mantém basicamente o mesmo, com exceção do tratamento com o herbicida fomesafen, aplicado no estágio de 6 a 8 folhas que, independentemente da dose, manteve-se com controle percentual acima de 90%, sendo então considerado viável em ambas as doses testadas. Os herbicidas lactofen a 84 e 168 g ha^{-1} e flumiclorac a 40 e 70 g ha^{-1} foram considerados inviáveis para o controle desta população de caruru palmer. Segundo Heap (2016), está confirmada a existência de biótipos de *Amaranthus palmeri* resistentes aos herbicidas inibidores da PROTOX e ao glyphosate no Tennessee (USA). As populações estudadas neste trabalho são as mesmas usadas por Carvalho et al. (2015) e Gonçalves Netto et al. (2016) em experimento que comprovou a resistência ao glyphosate e aos herbicidas inibidores da ALS. O estágio de aplicação interfere diretamente na eficiência de controle dos herbicidas inibidores da PROTOX utilizados, contudo, apesar de se tratarem de plantas em

estádio avançado, já existem casos reportados de resistência múltipla com doses pouco superiores as utilizadas.

Tabela 6.3 - Controle (%) e massa de matéria seca (g) de plantas de *Amaranthus palmeri*, oriundas da cidade de Tapurah - MT, avaliados 28 dias após a aplicação (DAA) de diferentes herbicidas, em dois estádios fenológicos. Piracicaba - SP, 2015

Tratamentos	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Controle 28 DAA (%)		Massa Matéria Seca ² (g)				
		2 a 4 Folhas	4 a 6 Folhas	2 a 4 Folhas		4 a 6 Folhas		
Testemunha	-	0,00 bA	0,00 dA	0,89 bA		0,89 fA		
Fomesafen	125	100,00 aA	75,75 bB	0,00 aA		0,48 cB		
Fomesafen	250	100,00 aA	94,75 aA	0,00 aA		0,15 aA		
Lactofen	84	100,00 aA	73,75 bB	0,00 aA		0,33 bB		
Lactofen	168	100,00 aA	93,75 aA	0,00 aA		0,08 aA		
Flumiclorac	40	100,00 aA	66,25 bB	0,00 aA		0,29 bB		
Flumiclorac	60	100,00 aA	45,00 cB	0,00 aA		0,45 cB		
Atrazina	1500	100,00 aA	86,25 aB	0,00 aA		0,19 aB		
Mesotrione+Atrazina	12 + 1500	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,07 aA		
Tembotrione+Atrazina	75,6 + 1500	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,06 aA		
Amônio Glufosinato	400	100,00 aA	98,25 aA	0,00 aA		0,11 aA		
Paraquat	400	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,12 aA		
F _{trat} 115,603*		F _{fenol} 84,842*	F _{int} 11,374*	CV (%) 8,70	F _{trat} 24,127*	F _{fenol} 59,672*	F _{int} 3,00*	CV (%) 5,27

*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade; ¹Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$. Em todos os tratamentos foram adicionados Aureo na proporção de 0,5 % v/v.

Tabela 6.4 - Controle (%) e massa de matéria seca (g) de plantas de *Amaranthus palmeri*, oriundas da cidade de Ipiranga do Norte - MT, avaliados 28 dias após a aplicação (DAA) de diferentes herbicidas, em dois estádios fenológicos. Piracicaba - SP, 2015

Tratamentos	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Controle 28 DAA (%)		Massa Matéria Seca ² (g)				
		2 a 4 Folhas	4 a 6 Folhas	2 a 4 Folhas		4 a 6 Folhas		
Testemunha	-	0,00 bA	0,00 fA	0,89 bA		0,89 cA		
Fomesafen	125	100,00 aA	98,75 aA	0,00 aA		0,10 aA		
Fomesafen	250	100,00 aA	91,25 bB	0,00 aA		0,25 aB		
Lactofen	84	100,00 aA	78,75 cB	0,00 aA		0,46 bB		
Lactofen	168	100,00 aA	67,50 dB	0,00 aA		0,65 bB		
Flumiclorac	40	100,00 aA	47,50 eB	0,00 aA		0,42 bB		
Flumiclorac	60	100,00 aA	66,25 dB	0,00 aA		0,27 aB		
Atrazina	1500	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,19 aB		
Mesotrione+Atrazina	12 + 1500	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,24 aB		
Tembotrione+Atrazina	75,6 + 1500	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,15 aA		
Amônio Glufosinato	400	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,20 aB		
Paraquat	400	100,00 aA	100,00 aA	0,00 aA		0,11 aA		
F _{trat} 293,177*		F _{fenol} 171,43*	F _{int} 29,974*	CV (%) 5,48	F _{trat} 21,150*	F _{fenol} 93,241*	F _{int} 3,43*	CV (%) 5,39

*Teste F significativo a 1% de probabilidade; Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade; ¹Dados originais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x+1}$. Em todos os tratamentos foram adicionados Aureo na proporção de 0,5 % v/v.

De forma geral, pode-se considerar os melhores tratamentos, em relação a controle percentual e redução de massa, tanto para a população de Ipiranga do Norte, como de Tapurah, foram (g ha⁻¹): mesotrione + atrazina a 120 + 1.500, tembotrione + atrazina a 75,6 + 1500, amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400. Tal cenário indica o milho como importante cultura em rotação com algodão ou soja nas áreas de onde foram coletadas as sementes, possibilitando o uso da atrazina, principalmente. Áreas a serem dessecadas, a serem tratadas com aplicação em jato dirigido, ou ainda em áreas com utilização de material geneticamente modificado com a tecnologia LL tem no amônio glufosinato excelente alternativa de manejo e de mecanismo de ação.

Os herbicidas inibidores de protox avaliados neste trabalho são, em geral, recomendados para aplicação em pós-emergência da soja. Uma vez que se observa a necessidade de aplicação no estágio mais inicial de desenvolvimento do caruru palmer, o uso de herbicidas residuais pré ou pós-plantio nestas áreas também pode ser uma alternativa muito importante.

6.4 Conclusões

Tanto a população de Ipiranga do Norte, como de Tapurah foram adequadamente controladas pelos seguintes tratamentos herbicidas (g ha⁻¹): fomesafen a 250, lactofen a 168, mesotrione + atrazina a 120 + 1.500, tembotrione + atrazina a 75,6 + 1.500, amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400 g i.a. ha⁻¹, em ambos os estádios de aplicação.

O estágio de aplicação de 2 a 4 folhas, com até 5 cm de altura, é o mais indicado no controle da planta daninha caruru palmer (*Amaranthus palmeri*).

Referências

ANDRADE JUNIOR, E. R.; CAVENAGHI, A. L.; GUIMARÃES, S. C.; CARVALHO, S. J. P. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso**. Mato Grosso: IMAmt, 2015. p. 1- 4. (Circular Técnica 19).

BECKIE, H.; TARDIF, F. J. Herbicide cross resistance in weeds. **Crop Protection**, Guildford, v. 35, p. 15-28, 2012.

CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A. L.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Detection of Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Agricultural Areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 33, n. 3, p. 579-586, 2015.

FRANS, R.E.; TALBERT, R.; MARK, D.; CROWLEY, H. Experimental design and the techniques for measuring and analysis plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N. D. **Research methods in weed science**. 3.ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p.29-46.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; BORGATO, E.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicide in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v.34, n.3, p.581-587, 2016.

HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/In.asp>. Acesso em: 17 de novembro 2016.]

HESS, M.; BARRALIS, G.; BLEIHOLDER, H.; BUHRS, L.; EGGERS, T.H.; HACK, H.; STAUSS, R. Use of the extended BBCH scale - general for descriptions of the growth stages of mono-and dicotyledonous weed species. **Weed Research**, Oxford, v. 37, n. 6, p. 433-441, 1997.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Bernardo do Campo: BASF, 1999. 825 p.

KLINGMAN, T. E.; KING, C. A.; OLIVER, L. R. Effect of application rate, weed species and weed stage of growth on imazethapyr activity. **Weed Science**, Lawrence, v. 40, n. 2, p.227-232, 1992.

LEGLEITER, T.; JOHNSON, B. Palmer Amaranth biology, identification and management. **Purdue Extension**, WS-51, 2013. Disponível em: <<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WS/WS-51-W.pdf>> Acesso em: 24 jan. 2016.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 7.ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2014. 383 p.

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

MORICHETTI, S.; CANTERO, J. J.; NÚÑEZ, C.; BARBOZA, G. E.; ESPINAR, L. A.; AMUCHASTEGUI, A.; FERREL, J. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina Botánica**, Córdoba, v. 48, n.2, p.347-354, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S., CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. 348 p.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42p.

WARD, S. M.; WEBSTER, T. M.; STECKEL, L. E. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): A Review. **Weed Technology**, Lawrence, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013.

7 CONCLUSÕES GERAIS

(i) O biótipo brasileiro de *A. palmeri* foi considerado de rápido desenvolvimento fenológico, com início de emissão de inflorescências aos 50 dias após semeadura, com ajuste linear conforme equação $y = 0,8866.x$ e acúmulo máximo de 45 g planta⁻¹, com pico de crescimento absoluto aos 60 DAS;

(ii) Trata-se de população com resistência múltipla aos inibidores da EPSPS e ALS, além de resistência cruzada entre sulfoniluréias - triazolopirimidinas - imidazolinonas;

(iii) As plantas de *A. palmeri* foram adequadamente controladas pelos seguintes tratamentos herbicidas (g ha⁻¹): fomesafen a 250, lactofen a 168, mesotrione + atrazina a 120 + 1.500, tembotrione + atrazina a 75,6 + 1.500, amônio glufosinato a 400 e paraquat a 400 g i.a. ha⁻¹, em ambos os estádios de aplicação. Estes tratamentos foram eficientes sobre ambos os estádios de aplicação, sendo o estágio ótimo de aplicação de 2 a 4 folhas, com até 5 cm de altura.