

Manejo químico de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência

Chemical management of smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*) with herbicides applied pre and post-emergency

Leonardo Brunetto^a, Leandro Galon^{a*}, Antônio M. L. da Silva^a, Daniel C. Cavaletti^a, Rafael H. Wall^a, Victor M. Senhori^a, Gismael F. Perin^a

^aLaboratório Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas, Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, Erechim, RS, Brasil.

Resumo: Introdução: Para se ter êxito no controle de caruru-roxo (*A. hybridus*) torna-se necessário a adoção de programas de manejo integrados como, o uso de dessecantes em conjunto com práticas culturais, com herbicidas pré e/ou pós-emergentes, com rotação de mecanismos de ação em virtude dessa espécie apresentar resistência aos inibidores de ALS e EPSPs. **Objetivo:** Avaliar a eficácia de herbicidas aplicados em pré e/ou pós-emergência para o manejo químico de caruru-roxo.

Métodos: Foram conduzidos experimentos em casa de vegetação, sendo no primeiro aplicado os herbicidas pré-emergentes; diclosulam, imazethapyr, [imazethapyr+flumioxazin], S-metolachlor, atrazine, [atrazine+simazine], metribuzin, flumioxazin, sulfentrazone, [sulfentrazone+diuron], mais uma testemunha infestada. No segundo experimento usou-se os herbicidas; chlorimuron-ethyl, imazethapyr, mesotrione, glyphosate, diquat, metribuzin, atrazine, [mesotrione+atrazine], [atrazine+simazine], amonio-glufosinate, saflufenacil, carfentrazone-ethyl, flumioxazin, fomesafen, 2,4-D colina, 2,4-D amina, dicamba, em pós-emergência, mais uma testemunha sem aplicação.

Resultados: Os herbicidas inibidores da ALS não apresentaram bom desempenho de controle. Os herbicidas atrazine e [atrazine+simazine] demonstraram boa eficácia em ambos os experimentos. Destaca-se que os herbicidas pertencentes aos mecanismos de ação inibidores de Protox para os pré-emergentes e pós-emergentes, inibidores do Fotossistema II e de ação total, como glyphosate, diquat e amonio-glufosinate pelo bom controle do caruru-roxo.

Conclusões: Os herbicidas [imazethapyr+flumioxazin], flumioxazin, sulfentrazone e [sulfentrazone+diuron] apresentaram os melhores controles de caruru-roxo em pré-emergência. O diclosulam, imazethapyr e o metribuzin não demonstraram eficiência em pré-emergência. A aplicação de chlorimuron-ethyl e imazethapyr não apresentou eficácia em pós-emergência. Os herbicidas diquat, amonio-glufosinate e saflufenacil demonstraram bom controle de caruru-roxo.

Palavras-chave: eficácia de herbicidas, rotação de herbicidas, resistência de plantas.

Abstract: Background: To successfully control *A. hybridus*, it is necessary to adopt integrated management programs, such as the use of desiccants associated with cultural practices, with pre and/or post-emergent herbicides, varying action mechanisms due to resistance to ALS and EPSPs inhibitors that the species has.

Objective: To evaluate the herbicide effectiveness applied in pre and/or post-emergence for the chemical management of *A. hybridus*.

Methods: Experiments were carried out in a greenhouse, in the first one it was applied pre-emergent herbicides; diclosulam, imazethapyr, [imazethapyr+flumioxazin], S-metolachlor, atrazine, [atrazine+simazine], metribuzin, flumioxazin, sulfentrazone, [sulfentrazone+diuron], plus an infested control. In the second one, it was used the herbicides chlorimuron-ethyl, imazethapyr, mesotrione, glyphosate, diquat, metribuzin, atrazine, [mesotrione+atrazine], [atrazine+simazine], ammonium glufosinate, saflufenacil, carfentrazone, flumioxazin, fomesafen, 2,4-D choline, 2,4-D amine, dicamba post-emergence, plus a control without application.

Results: ALS-inhibiting herbicides did not perform well. Atrazine and [atrazine+ simazine] herbicides showed good efficacy in both experiments. Protox-inhibiting herbicides applied in pre- and post-emergence, Photosystem II inhibitors and total action, such as glyphosate, diquat and ammonium glufosinate, stood out due to efficient *A. hybridus* control.

Conclusions: The herbicides [imazethapyr+flumioxazin], flumioxazin, sulfentrazone and [sulfentrazone+diuron] showed the best pre-emergence controls for *A. hybridus*. Diclosulam, imazethapyr and metribuzin demonstrated no efficiency in pre-emergence. Chlorimuron-ethyl and imazethapyr application showed no efficacy in post-emergence. The herbicides diquat, ammonium glufosinate and saflufenacil efficiently controlled *A. hybridus*.

Keywords: herbicide effectiveness, herbicide rotation, plant resistance.

Journal Information:

ISSN: 2763-8332

Website: <https://www.weedcontroljournal.org/>

Jornal da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

Como citar: Brunetto L, Galon L, Silva AML, Cavaletti DC, Wall RH, Senhori VM, Perin GF. Manejo químico de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. Weed Control J. 2023;22:e202300790.

<https://doi.org/10.7824/wcj.2023;22:00790>

Aprovado por:

Editor-Chefe: Daniel Valadão Silva
Editor Associado: Hamurabi Lins

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à publicação deste manuscrito.

Recebido: Fevereiro 28, 2022

Aprovado: Outubro 27, 2023

* Corresponding author:

<leandro.galon@gmail.com>



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Copyright: 2023

1. Introdução

A agricultura brasileira vem evoluindo constantemente nos últimos anos, sendo o país um dos maiores produtores de grãos do mundo, com expectativa de produzir 162,00; 119,40 e 3,04 milhões de toneladas de soja, milho e feijão, respectivamente na safra 2023/24 (Conab, 2023). Para que se possa atingir maiores produtividades, visando aumentar ainda mais a produção, há vários desafios que são enfrentados pelos profissionais envolvidos no setor agrícola. Dentre os desafios, um dos principais se refere ao controle insatisfatório de plantas daninhas nas lavouras, as quais causam elevadas perdas em quantidade e qualidade de grãos colhidos (Galon et al., 2017; Gazziero et al., 2023).

Entre os métodos de controle de plantas daninhas destaca-se o químico, em especial para a agricultura em larga escala devido a eficácia, rapidez e menor custo ao se comparar com outras práticas de manejo (Santos et al., 2013). A associação e rotação de herbicidas aplicados em pré e/ou pós-emergência de diferentes mecanismos de ação, devem ser consideradas no manejo das plantas daninhas (Riar et al., 2013; Gazziero, 2015; Martins et al., 2020).

Para a realização do controle das plantas daninhas infestantes de culturas, é necessária a utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação e em alguns casos que apresentem efeito residual prolongado no solo para se evitar novos fluxos dessas espécies (Galon et al., 2017; Viecelli et al., 2021).

Dentre as espécies de plantas daninhas que tem ocasionado efeitos negativos ao infestar as culturas agrícolas destaca-se o caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*),

principalmente na região Sul do Brasil. Essa espécie apresenta metabolismo fotossintético do tipo C4, rápido estabelecimento e desenvolvimento inicial, considerada de difícil controle devido ao elevado banco de sementes viáveis que pode deixar no solo, assim, garantindo longevidade na germinação de plantas (Sage e Zhu, 2011; Gazziero et al., 2023). O caruru-roxo é uma espécie de difícil identificação a campo quando em estádios iniciais por possuir semelhanças com outras espécies do gênero *Amaranthus* (Gonçalves Netto et al., 2016).

Em 2018 foi identificado casos de resistência no Brasil de biótipos de caruru-roxo aos herbicidas glyphosate (inibidor da EPSPs) e chlorimuron-ethyl (inibidor da ALS) e em outros países essa espécie também apresenta resistência aos mimetizadores de auxinas (2,4-D e dicamba), inibidores do Fotossistema II (atrazine e metribuzin) e inibidores da PROTOX (lactofen, fomesafen e sulfentrazone) (Braz e Takano, 2022; Gonçalves Netto et al., 2022; Yannicari et al., 2022; Heap, 2023).

Em virtude dos diversos casos de resistência de caruru-roxo tem-se a necessidade da adoção de programas de manejo integrados como o uso de herbicidas em conjunto com práticas culturais (Riar et al., 2013; Braz e Takano, 2022).

A hipótese do trabalho é que a eficácia de controle do caruru-roxo é influenciada pela escolha dos herbicidas aplicados em pré e/ou em pós-emergência da planta daninha. Desse modo objetivou-se com o trabalho avaliar a eficiência dos herbicidas aplicados em pré e pós-emergência para o controle de caruru-roxo.

2. Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim (RS), no ano de 2021, sendo em cada um avaliado a eficácia de herbicidas aplicados em pré ou pós-emergência do caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*). Para ambos os experimentos, as sementes com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores de EPSPs (glyphosate) e ALS foram coletadas nas coordenadas geográficas latitude 27°43'59.8"S e longitude 52°47'53.0"W e altitude de 601 m, no município de Ronda Alta (RS) em lavoura com histórico de cultivo de soja de pelo menos duas safras agrícolas.

Para ambos os experimentos, as unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade para 3,0 dm³, as quais foram preenchidas com solo classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférico húmico (Santos et al., 2018) com as seguintes características físico-químicas: pH em água de 4,8; M.O. = 4,9%; P = 7,1 mg dm⁻³; K = 408,0 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,4 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 38,6 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 12,3 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} = 8,9 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} = 14,8 cmol_c dm⁻³; H+Al = 6,2 cmol_c dm⁻³; Saturação de bases = 58%; e Argila = 56%.

Os experimentos foram instalados em delineamento de bloco casualizados, com quatro repetições. Para o experimento realizado com os herbicidas aplicados em pré-emergência da planta daninha, foi realizado inicialmente a semeadura do caruru-roxo e posteriormente a aplicação dos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos, doses e empresas fabricantes dos produtos utilizados nos experimentos de controle de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) em diferentes modalidades de aplicação.

Tratamentos	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Dose P.C (L/kg ha ⁻¹)	Marca comercial	Empresa fabricante
Herbicidas avaliados em pré-emergência				
Diclosulam	25,20	0,030	Spider® 840 WG	Corteva CTVA
Imazethapyr	100	1,000	Pivot® 100 SL	Basf
[Imazethapyr+flumioxazin]	[120+60]	0,600	Zethamaxx®	Sumitomo
S-metolachlor	1440	1,500	Dual Gold®	Syngenta
Atrazine	3250	6,500	Atrazina Nortox 500 SC®	Nortox
[Atrazine+simazine]	[2000+2000]	8,000	Primatop® SC	Syngenta
Metribuzin	480	1,000	Sencor® 480	Bayer
Flumioxazin	60	0,120	Flumyzin 500 SC®	Sumitomo
Sulfentrazone	600	1,200	Boral® 500 SC	FMC
[Sulfentrazone+ diuron]	[245+490]	1,400	Stone®	FMC
Testemunha infestada	---	---	---	---
Herbicidas avaliados em pós-emergência				
Chlorimuron-ethyl*	17,50	0,070	Classic®	Corteva CTVA
Imazethapyr*	100	1,000	Pivot® 100 SL	Basf
Mesotrione*	192	0,400	Callisto®	Syngenta
Glyphosate	1440	3,000	Roundup Original® Mais	Monsanto
Diquat*	400	2,000	Reglone®	Syngenta
Metribuzin*	480	1,000	Sencor® 480	Bayer
Atrazine*	3250	6,500	Atrazina Nortox 500 SC®	Nortox
[Mesotrione + atrazine]*	[100+1000]	2,000	Calaris®	Syngenta
[Atrazine + simazine]*	[2000+2000]	8,000	Primatop® SC	Syngenta
Amonio-glufosinato*	400	2,000	Finale®	Basf
Saflufenacil*	52,50	0,075	Heat®	Basf
Carfentrazone-ethyl*	30	0,075	Aurora®	FMC
Flumioxazin*	20	0,040	Flumyzin 500 SC®	Sumitomo
Fomesafen*	250	1,000	Flex®	Syngenta
2,4-D colina*	456	1,000	Enlist® Colex-D	Corteva CTVA
2,4-D amina*	1005	1,500	Aminol® 806	Adama
Dicamba*	480	1,000	Atectra®	Basf
Testemunha infestada	---	---	---	---

*Adicionado à calda de aplicação óleo mineral Assist® (0,5% v v⁻¹). i.a: ingrediente ativo.

No experimento em que os herbicidas foram aplicados em pós-emergência, foi realizada a semeadura do caruru-roxo em bandejas de polietileno e quando as plantas estavam com os cotilédones desenvolvidos transplantou-se para as unidades experimentais definitivas, deixando apenas duas plantas por unidade experimental (Tabela 1). A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas de caruru-roxo apresentavam quatro folhas desenvolvidas.

Os tratamentos dos experimentos foram aplicados com o solo em capacidade de campo, sem presença de palha na superfície, com umidade relativa do ar de 60%, temperatura de 24°C e vento de 3 km h⁻¹. No dia seguinte a aplicação, foi realizado irrigação dos vasos plásticos com 6 mm de água. Quando as plantas estavam desenvolvidas, a irrigação foi realizada diariamente, com aproximadamente 10 mm dia⁻¹, não ocorrendo estresse hídrico. Os herbicidas usados no trabalho foram os recomendados para milho, feijão e soja em aplicações para dessecações em pré-semeadura, em pré ou pós-emergência dessas culturas, sendo as doses aplicadas de acordo com a recomendação do fabricante.

A aplicação dos tratamentos foi efetuada com pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com quatro pontas de pulverização do tipo leque modelo DG 110-02, distanciadas em 0,5 m entre si, com pressão constante de 2,0 kgf cm⁻², o que aspergiu um volume de calda

de 150 L ha⁻¹.

As avaliações de controle de caruru-roxo nos experimentos foram realizadas visualmente aos 7, 14, 21, 30, 45 e 60 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), atribuindo-se notas percentuais de 0% aos tratamentos com ausência de controle (testemunha) e 100% para a morte da planta daninha, de acordo com a metodologia proposta pela SBPCPD (1995).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e em havendo significância aplicou-se o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas com auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

Observou-se que a eficácia dos herbicidas aplicados em pré-emergência [imazethapyr + flumioxazin], flumioxazin, sulfentrazone e [sulfentrazone + diuron] apresentaram os melhores níveis de controle de caruru-roxo até 60 DAT (Tabela 2). Atrazine e [atrazine + simazine] também apresentaram bons resultados de controle, acima de 80%. Ressalta-se que para um herbicida ser considerado eficiente, com controle aceitável de uma planta daninha o produto deve apresentar eficácia mínima de 80% (Oliveira et al., 2009).

Tabela 2. Controle (%) de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) em função da aplicação de herbicidas em pré-emergência das plantas.

Tratamentos	Controle (%) de caruru-roxo					
	7 DAT	14 DAT	21 DAT	30 DAT	45 DAT	60 DAT
Diclosulam	93,25 b	71,75 c	61,75 c	68,75 c	61,25 b	57,00 c
Imazethapyr	85,00 c	60,00 d	55,75 d	54,5 d	42,50 c	40,00 d
[Imazethapyr+ flumioxazin]	99,75 a	100,00 a	100,00 a	99,75 a	100,00 a	99,50 a
S-metolachlor	78,00 d	81,25 b	91,50 b	96,00 a	95,00 a	90,75 b
Atrazine	92,75 b	97,50 a	97,25 a	95,75 a	89,00 a	82,50 b
[Atrazine + simazine]	90,50 b	96,25 a	97,75 a	98,00 a	97,25 a	90,00 b
Metribuzin	84,75 c	83,50 b	89,50 b	75,00 b	43,75 c	25,00 e
Flumioxazin	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	98,50 a
Sulfentrazone	100,00 a	100,00 a	99,75 a	99,75 a	100,00 a	98,75 a
[Sulfentrazone + diuron]	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	99,75 a
Testemunha infestada	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,00 d	0,00 f
CV(%)	3,59	4,37	4,36	4,90	11,64	12,26

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os tratamentos envolvendo os herbicidas pertencentes ao mecanismo de ação inibidores da ALS, diclosulam e imazethapyr, apresentaram controle satisfatórios apenas até os 7 DAT. Após foi detectado decréscimo constante de eficiência até os 60 DAT (Tabela 2). Foram relatados casos de resistência de caruru-roxo ao imazethapyr em vários países (Heap, 2023). Os resultados obtidos neste estudo demonstram tendência de resistência cruzada da população de caruru-roxo aos herbicidas inibidores da ALS, dos grupos químicos das imidazolinonas, sulfonilureias e triazolpirimidinas, fato esse já relatado para biótipos dessa espécie nos Estados Unidos (Whaley et al., 2006).

O herbicida formulado comercialmente com a mistura de [imazethapyr + flumioxazin] apresentou bom desempenho, com eficiência acima de 99% em todas as avaliações, não se diferenciando estatisticamente do

flumioxazin aplicado de forma isolada, o qual obteve 100% de controle até os 45 DAT, decrescendo aos 60 DAT para 98,5% (Tabela 2). Estes resultados corroboram com estudos realizados por Martins et al. (2020) os quais identificaram bom nível de controle de caruru-roxo pelo flumioxazin. Assim, é possível inferir que o flumioxazin de forma isolada proporciona bom desempenho no controle de dessa planta daninha, não apresentando diferença significativa ao se adicionar imazethapyr, uma vez que este herbicida aplicado isolado não demonstrou controle satisfatório, em especial após os 7 DAT. Provavelmente o baixo desempenho do imazethapyr deve-se ao fato do caruru-roxo utilizado nesse ensaio ser resistente aos inibidores de ALS, conforme já relatado anteriormente.

Na avaliação efetuada aos 7 DAT, apenas o herbicida S-metolachlor não atingiu 80% de controle da planta daninha,

o que veio a ocorrer posteriormente, dos 14 até 60 DAT onde foi observado eficiência de controle acima de 90% (Tabela 2). Resultados similares também foram relatados em trabalho realizado por Martins et al. (2020). O processo mais lento de eficiência pode ser atribuído ao fato de que o S-metolachlor é absorvido pelo hipocótilo das dicotiledôneas, portanto precisa estar disponibilizado no solo para absorção e assim efetivar sua eficiência (Clewis et al., 2006; Meyers et al., 2010) e muitas vezes ocorre a emergência da planta antes da morte. A partir dos 30 DAT o tratamento com S-metolachlor não diferiu estatisticamente de atrazine e [atrazine + simazine], respectivamente, as quais não proporcionaram o melhor nível de eficiência ao se comparar com os outros herbicidas testados, mas tiveram estabilidade e controle satisfatório até os 60 DAT.

A atrazine e [atrazine + simazine] demonstraram redução de controle a partir dos 30 DAT, o que pode ser atribuído a perda de residual do herbicida no solo (Tabela 2). Esse fato pode decorrer pelo processo de lixiviação, uma vez que as unidades experimentais receberam irrigação constante e, o grupo das triazinas apresenta alto potencial de perdas por lixiviação (Mendes et al., 2019). O tratamento com metribuzin atingiu valores de controle acima dos 80% até 21 DAT, nas demais avaliações apresentou perdas drásticas de controle, chegando aos 60 DAT com resultado somente superior a testemunha sem herbicida. Assim, percebe-se que o metribuzin, utilizado em pré-emergência não demonstra controle de forma satisfatória do caruru-roxo, disponibilizando curto residual. Isso pode ser atribuído a alta solubilidade em água (1100 mg L⁻¹), médio Koc (60 mL g⁻¹) e a constante de dissociação (pKa) sendo 1,0; assim, facilmente lixiviada no solo, não sendo recomendado o uso de metribuzin em solo arenoso e/ou com baixo nível de matéria orgânica (Rodrigues e Almeida, 2018).

O sulfentrazone demonstrou bom desempenho, sendo a sua aplicação de forma isolada ou em mistura com o diuron, com controle superior a 98% de caruru-roxo, dos 45 a 60 DAT (Tabela 2). Martins et al. (2020) encontraram resultados de controle acima de 90% para o uso de sulfentrazone, corroborando em partes com a presente pesquisa. A eficiência destes herbicidas para controle de espécies de *Amaranthus* e outras dicotiledôneas também é descrita em outros trabalhos, quando as condições climáticas e de umidade do solo são favoráveis, já que para exercer sua ação fitotóxica as plântulas devem absorver os herbicidas pelas raízes (Krausz et al., 1998; Niekamp et al., 1999; Agrofite, 2023).

Os herbicidas pré-emergentes demonstram-se como boas ferramentas no controle de caruru-roxo, alguns desempenhando eficiência por mais tempo, como foi o caso de flumioxazin, [imazethapyr+ flumioxazin], sulfentrazone, [sulfentrazone + diuron] e outros que também apresentaram bom controle, mas possivelmente necessitam de complementações com herbicidas pós-emergentes após 60 DAT, no caso de S-metolachlor, atrazine e [atrazine+ simazine], os quais apresentaram perdas de eficiência ao final das avaliações (Tabela 2).

Com relação aos herbicidas aplicados em pós-

emergência observou-se que as plantas de caruru-roxo apresentaram sensibilidade a maioria dos produtos, os quais apresentaram eficiência de controle acima dos 80%, já aos 7 DAT (Tabela 3). Somente o chlorimuron-ethyl, imazethapyr e mesotrione demonstram controles abaixo de 80% aos 7 DAT. Falk et al. (2006) relatam que em espécies de *Amaranthus*, o estágio ideal para aplicação de herbicidas em pós-emergência é de até quatro folhas, desse modo ocorre maior sensibilidade da planta. Isso corrobora com os resultados encontrados no presente estudo, onde a aplicação dos herbicidas em pós emergência foram realizadas quando o caruru-roxo encontrava-se com quatro folhas.

O chlorimuron-ethyl foi reduzindo a eficácia no decorrer do tempo chegando aos 45 DAT com ausência de controle, igualando-se estatisticamente a testemunha sem herbicida (Tabela 3). Em 2018, foi relatado a ocorrência de biótipos de resistência de caruru-roxo ao chlorimuron-ethyl no Brasil, assim como ocorreu em outros países em anos anteriores (Heap, 2023). Portanto é prudente evitar o uso desse herbicida para o controle de caruru-roxo, impedindo o aumento de casos de biótipos com resistência. O imazethapyr apresentou evolução de eficácia até os 30 DAT, chegando a 92,25% de controle do caruru-roxo, decaindo para 78,75% aos 60 DAT, não sendo aceitável e nem recomendável esse índice. Isso ocorreu pelo rebrote das plantas, uma vez que não chegaram a ter sua morte completa. Este herbicida apresentou efeito de controle semelhante, tanto ao ser aplicado em pré quanto em pós-emergência, sendo que em nem uma das modalidades de uso demonstrou controle satisfatório do caruru-roxo.

A aplicação de mesotrione em pós-emergência, apresentou ótima eficiência após os 14 DAT (98,75%) vindo as plantas a morrer aos 21 DAT (Tabela 3). Gonçalves Netto et al. (2019) encontraram bom desempenho de mesotrione para o controle de *A. palmeri*, o que se assemelha aos resultados observados no presente estudo para o caruru-roxo. O mesotrione pertence ao grupo químico das tricetonas e atua sobre as plantas daninhas inibindo a biossíntese de carotenoides, através da interferência na atividade da enzima HPPD nos cloroplastos, assim os sintomas envolvem branqueamento das plantas sensíveis com posterior necrose e morte dos tecidos vegetais (Agrofite, 2023).

O glyphosate apresentou controle satisfatório do caruru-roxo, podendo-se inferir que o biótipo utilizado é suscetível ao herbicida (Tabela 3). Destaca-se que em 2018 foi registrado o primeiro caso de resistência de caruru-roxo no Brasil aos inibidores da EPSPs, no caso ao glyphosate (Heap, 2023). Dessa maneira, orienta-se a rotação de mecanismos de ação para o controle da planta daninha, evitando a perda de ferramentas para o controle químico da mesma. Os herbicidas de ação total podem ser utilizados em programas de manejos aplicados de forma associada ou em isolado como realizado no presente estudo em que o diquat e o amonio-glufosinate ocasionaram 100% de controle já nos 7 DAT. Os herbicidas considerados de contato devem ser aplicados em estádios iniciais das plantas daninhas onde essas têm maior sensibilidade para evitar o rebrote das mesmas (Galon et al., 2018).

Tabela 3. Controle (%) de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) em função da aplicação de herbicidas em pós-emergência das plantas.

Tratamentos	Controle (%) de caruru-roxo					
	7 DAT	14 DAT	21 DAT	30 DAT	45 DAT	60 DAT
Chlorimuron-ethyl	50,00 d	32,50 c	28,75 b	20,00 c	0,00 d	0,00 d
Imazethapyr	62,50 c	92,00 b	92,50 a	92,50 b	81,25 c	78,75 c
Mesotrione	76,25 b	98,75 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Glyphosate	99,50 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Diquat	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Metribuzin	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Atrazine	97,50 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
[Mesotrione + atrazine]	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
[Atrazine + simazine]	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Amonio-glufosinato	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Saflufenacil	99,75 a	99,25 a	99,75 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Carfentrazone-ethyl	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Flumioxazin	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Fomesafen	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
2,4-D colina	82,00 b	92,00 b	92,50 a	92,50 b	95,00 b	95,00 b
2,4-D amina	83,75 b	91,25 b	99,50 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Dicamba	97,50 a	99,00 a	99,75 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Testemunha infestada	0,00 e	0,00 d	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,00 d
CV(%)	5,97	6,29	5,98	4,47	2,56	2,04

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os herbicidas com mecanismos de ação inibidores do Fotossistema II e de carotenóides (mesotrione, atrazine, metribuzin, [mesotrione + atrazine] e [atrazine + simazine]) apresentaram bom controle quando aplicados em pós-emergência, principalmente após os 7 DAT (Tabela 3). O metribuzin não apresentou controle adequado ao ser aplicado em pré-emergência da planta daninha (Tabela 2). Desse modo recomenda-se o uso do imazaquin em pós-emergência do caruru-roxo, uma vez que ocasionou a morte das plantas, já aos 7 DAT, permanecendo com 100% de controle até os 60 DAT (Tabela 3). Os tratamentos envolvendo a atrazine, [mesotrione + atrazine] e [atrazine + simazine] demonstraram excelentes resultados em pós-emergência e mostraram-se eficientes no controle de caruru-roxo. Esses mesmos herbicidas em trabalho realizado por Gonçalves Netto et al. (2019) apresentam bom controle de *A. palmeri*, sendo recomendados e registrados para aplicação na cultura do milho (Agrofit, 2023). Dessa maneira a rotação de culturas de soja com milho, por exemplo, traz benefícios também ao se rotacionar diferentes mecanismos de ação, o que favorece o controle de plantas daninhas, nesse caso do caruru-roxo, dentro de um sistema de manejo para áreas com infestação de plantas daninhas.

Dentro do mecanismo de ação dos inibidores de auxinas sintéticas, os herbicidas utilizados (2,4-D colina, 2,4-D amina e dicamba) apresentaram controle acima dos 80%, mas ocasionaram o controle de forma mais lenta. O herbicida 2,4-D colina demonstrou um controle menor quando comparado aos demais auxínicos em especial após a avaliação dos 21 DAT, não levando a morte das plantas de caruru-roxo. O 2,4-D amina e o dicamba apresentaram controle semelhante, ocasionando a morte das plantas aos 30 DAT, com 100% de controle (Tabela 3). Martins et al. (2020) em experimentos conduzidos buscando melhores programas de

manejo de caruru-roxo verificaram a necessidade de aplicações complementares com herbicidas de contato, quando utilizaram 2,4-D + glyphosate, para o controle da planta daninha. Em 2016, na Argentina, foi detectado biótipos de caruru-roxo resistentes ao 2,4-D e ao dicamba (Heap, 2023), o que leva a se adotar precaução no uso desses herbicidas no Brasil para o controle da referida planta daninha.

O uso de herbicidas inibidores PROTOX como é o caso do saflufenacil, carfentrazone-ethyl, flumioxazin e fomesafen, utilizados no presente trabalho, mostraram-se ótimas ferramentas para o controle em pós-emergência do caruru-roxo (Tabela 3). O bom desempenho deste mecanismo de ação pode ser explicado pelo estágio da planta daninha no momento da aplicação, por serem herbicidas predominantemente de contato, tendem a apresentar melhor performance em plantas pequenas e no início do período vegetativo, com poucas folhas desenvolvidas (Bellinder et al., 2003). A utilização destes herbicidas é importante em áreas com problemas de resistência a outros mecanismos de ação como, inibidores de ALS e EPSPs ou mesmo a auxinas sintéticas, caso que ocorre na Argentina. Whitaker et al. (2011) observaram que flumioxazin e fomesafen são herbicidas mais eficientes para controlar *A. palmeri* resistente ao glyphosate e aos inibidores de ALS em relação ao S-metolachlor.

Diante dos resultados obtidos percebe-se diferenças no uso de herbicidas aplicados em pré e/ou em pós-emergência para o controle de caruru-roxo, com bons resultados de eficiência da maioria dos produtos testados. O imazethapyr não apresentou bom desempenho em pré e pós-emergência, assim como não tiveram boa eficiência o diclosulam em pré e chlorimuron-ethyl em pós-emergência. Os herbicidas atrazine e [atrazine + simazine] demonstraram boa eficácia

em ambos os experimentos, mas para prolongar o controle do caruru-roxo recomenda-se a aplicação em pós-emergência, possibilitando o controle de novos fluxos da planta daninha. Destaca-se que os herbicidas pertencentes aos mecanismos de ação inibidores de Protoplasma para os pré-emergentes e pós-emergentes, Inibidores do Fotossistema II e de ação total, como glyphosate, diquat e amônio-glufosinate pela boa eficácia no controle de caruru-roxo, possibilitando várias opções para rotação de ingredientes ativos no controle da planta daninha, assim evitando o desenvolvimento de biótipos resistentes.

4. Conclusões

Os herbicidas [imazethapyr + flumioxazin], flumioxazin, sulfentrazone e [sulfentrazone + diuron] apresentaram os melhores controles de caruru-roxo quando aplicados em pré-emergência.

O diclosulam, imazethapyr e o metribuzin não demonstraram controle satisfatório de caruru-roxo ao serem usados em pré-emergência da planta daninha.

Referências

- AGROFIT/Mapa. 2023. Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários - Consulta Aberta. Disponível em: <://www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit/>. Acesso em: 20/10/2023.
- Bellinder RR, Arsenovic M, Shah DA, Rauch BJ. Effect of growth stage and adjuvant on the efficacy of fomesafen and bentazone. *Weed Sci.* 2003; 51: 1016-1021. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/P2002-047>
- Braz GB, Takano HK. Chemical control of multiple herbicide-resistant *Amaranthus*: A review. *Adv Weed Sci*, v.40, n.spe, e0202200062, 2022.
- Clewis SB, Wilcut JW, Porterfield D. Weed management with s-metolachlor and glyphosate mixtures in glyphosate-resistant-strip and conventional-tillage cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Weed Technol.* 2006; 20: 232-241. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-05-030R.1>
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira grãos. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 20/10/2023.
- Falk JS, Shoup DE, Al-Khatib K, Peterson DE. Protoplasma-resistant common waterhemp (*Amaranthus rudis*) response to herbicides applied at different growth stages. *Weed Sci.* 2006; 54: 793-799. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-06-020R.1>
- Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. agrotec.* 2011; 35: 1039-1042.
- Galon L, Castoldi CT, Forte CT, De David FA, Perin GF, Radunz AL. Weed management in beans using subdoses of fluzifop-p-butyl+fomesafen. *Planta Daninha*, 2018; 36: 018174070. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100054>
- A aplicação de chlorimuron-ethyl e imazethapyr não apresentou controle adequado de caruru-roxo em pós-emergência.
- O uso de 2,4-D colina não proporciona a mesma eficiência se comparado aos demais mimetizadores de auxina sintéticas (2,4-D amina e dicamba) no controle de caruru-roxo.
- Os herbicidas de contato de ação total (diquat, amônio-glufosinate e saflufenacil) demonstraram bom controle sobre o caruru-roxo.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - processo n. 306927/2019-5), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS - processo n. 20/2551-0000333-7) e a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS - processo n. PES-2021-0313), pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.
- Galon L, Nonemacher F, Agazzi LR, Fiabane RC, Forte CT, Franceschetti M. et al. Fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores de FSII e de ALS. *Rev. Bras. Herb.* 2017; 16: 307-324. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.586>
- Gazziero DLP. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. *Planta Daninha*, 2015; 33:83-92. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000100010>
- Gazziero DL, Silva AF, Silveira OR, Duke SO, Cerdeira LC. Introduction and management of *Amaranthus Palmeri* in Brazil. *Adv Weed Sci*, 2023; 41: e020220076. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00010>
- Gonçalves Netto A, Nicolai M, Carvalho SJP, Borgato EA, Christoffoleti PJ. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. *Planta Daninha*, 2016; 34: 581-587. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340300019>
- Gonçalves Netto, A, Nicolai, M., Carvalho, SJP., Malardo, MR., López-Ovejero, RF, Christoffoleti, PJ. Control of als- and epsps-resistant *amaranthus palmeri* by alternative herbicides applied in preand post-emergence. *Planta Daninha*, 2019; 37:e019212505. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100109>
- Gonçalves Netto A, Resende LS, Malardo MR, Presoto JC, Andrade JF, Nicolai M. et al. Geographical distribution and resistance level to chlorimuron of *Amaranthus* spp. populations in the main soybeans producing regions of

Brazil. Adv Weed Sci., 2022; 40: e020220063.

Heap IA. Criteria for confirmation of the herbicide-resistant weeds. Disponível em: <http://weedsociety.org/Pages/Species.aspx>. Acesso em: 20/10/2023.

Krausz RF, Kapusta G, Matthews JL. Sulfentrazone for weed control in soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 1998; 12: 684-689. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00044559>

Martins MB, Munhos TF, Vighi VA, Rosa RF, Timm C, Theisen G, et al. Manejo de *Amaranthus hybridus* em área de integração lavoura-pecuária na região Sul do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Herb. 2020; 19: 734. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v19i4.734>

Mendes KF, Shiroma AT, Pimpinato RF, Reis MR, Tornisiello VL. Transport of atrazine via leaching in agricultural soil with mineral oil addition. Planta Daninha, 2019; 37: e019210756. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100108>

Meyers SL, Jennings KM, Schultheis JR, Monks DW. Evaluation of flumioxazin and s-metolachlor rate and timing for palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control in sweetpotato. Weed Technol. 2010; 24: 495-503. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-09-00057.1>

Niekamp JW, Johnson WG, Smeda RJ. Broadleaf weed control with sulfentrazone and flumioxazin in no tillage soybean (*Glycine max*). Weed Sci. 1999; 13: 233-238. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890037X0004166X>

Oliveira AR, Freitas SP, Vieira HD. Controle de *Commelina benghalensis*, *C. erecta* e *Tripogandra diuretica* na cultura do café. Planta Daninha. 2009; 27: 823-830. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000400021>

Riar DS, Norsworthy JK, Steckel LE, Stephenson DO, Eubank TW, Bond J, et al. Adoption of best management practices for herbicide-resistant weeds in Midsouthern United States cotton, rice and soybean. Weed Technol. 2013; 27: 788-797. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00087.1>

Rodrigues BN, Almeida FS. Guia de herbicidas. 7ª ed. Londrina: Edição dos autores, 2018.

Sage, R.F.; Zhu, X.G. Exploiting the engine of C4 photosynthesis. Journal of Experimental Botany, v.62, n.9, p. 2989-3000, 2011.

Santos DPD, Braga RR, Guimarães FAR, Passos ABRDJ, Silva DV, Santos JBD, et al. Determination of bioindicators of auxinic herbicides residues. Rev. Ceres, 2013; 60: 354-362. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300008>

Santos HG dos, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira VA de, Lumberreras JF, Coelho MR, et al. Sistema brasileiro de

classificação de solos. 5ª Edição. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina. 1995. 42p.

Viecelli M, Trezzi MM, Galon L, Brandler D, Hatmann KCD, Pereira PB, et al. Morphophysiological characteristics of Brazilian bean genotypes related with sulfentrazone tolerance. J. Environ. Sci. Health B. 2021; 56: 706-721. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2021.1940659>

Whaley CM, Wilson HP, Westwood JH. ALS resistance in several smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*) biotypes. Weed Sci. 2006; 54:828-832. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-05-040R.1>

Whitaker JR, York AC, Jordan DL, Culpepper AS, Sosnoskie LM. Residual herbicides for Palmer amaranth control. J Cotton Science, 2011; 15: 89-99.

Yannicari M, Gaunes T, Scursoni J, Prado R, Vila-Aiun, M. *Amaranthus* spp.: an analysis comparing species, cropping regions and herbicides. Adv Weed Sci, 2022; 40: e0202200037.