

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Mapeamento, habilidade competitiva, custo adaptativo
e controle de biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes a
herbicidas**

Jaqueline Schmitt

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S355 Schmitt, Jaqueline

Mapeamento, habilidade competitiva, custo adaptativo e controle de biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes a herbicidas / Jaqueline Schmitt ; Dirceu Agostinetto, orientador ; Leandro Vargas, coorientador. — Pelotas, 2021.

117 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Caruru. 2. Ecofisiologia. 3. Resistência. 4. *Glyphosate*. 5. *Imazethapyr*. I. Agostinetto, Dirceu, orient. II. Vargas, Leandro, coorient. III. Título.

CDD : 632.95

JAQUELINE SCHMITT

**Mapeamento, habilidade competitiva, custo adaptativo
e controle de biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes a herbicidas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Fitossanidade-Herbologia).

Orientador: Dr. Dirceu Agostinetto

Coorientador: Dr. Leandro Vargas

Pelotas, 2021

Banca examinadora:

Eng. Agr. Dr. André Da Rosa Ulguim

Eng^a. Agr^a. Dr^a. Catarine Markus

Eng. Agr. Dr. Leandro Vargas
(Coorientador)

Eng. Agr. Dr. Dirceu Agostinetto
(Orientador)

Aos meus pais, Vilma e Valderes.
Ao meu namorado Nilmar.
Aos meus irmãos, Amauri e Catiline.
As minha sobrinhas e afilhada, Catharina, Manoela e Heloisa.
Ao professor Dirceu.
Aos meus amigos (as).
E aos que perdi durante a jornada,
Em especial a Tia Lena, o Mauro e a Dona Marina.

OFEREÇO E DEDICO

Agradecimentos

Primeiramente à Deus, por sempre estar me acompanhado, guiando e iluminando meu caminho e minhas decisões para que eu obtivesse sucesso em mais essa etapa da minha vida.

À minha família, pelo apoio, compreensão e carinho, sem a qual não poderia estar concluindo mais essa etapa de minha vida, em especial a minha Mãe, que nunca mediu esforços e que sempre foi minha base e minha força.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que me proporcionou formação educacional e pessoal, em especial aos professores Dr. Ivan Sestari e Dra. Naiara Guerra pelos ensinamentos que levarei sempre comigo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade pela oportunidade de realização do curso e aos professores que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

Ao professor Dr. Dirceu Agostinetti pela orientação, apoio, pelo conhecimento compartilhado, dedicação, confiança, convivência e por toda a compreensão dedicada a mim.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Mestrado.

À Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Centro de Estudos em Herbologia pela disponibilização das suas instalações para a realização dos experimentos.

Aos meus colegas e amigos da pós-graduação: Andressa Pitol, Francisco Goulart, Maicon Fernando Schmitz, Juliano Gazola, Joseano Graciliano, Cassiano Salin Pigatto, e a Geovana Facco Barbieri, pela amizade, incentivo e auxílio na execução dos experimentos. Aos bolsistas e estagiários. Em especial a Adriana Amarante que me acompanhou e me ajudou em todo o mestrado.

Aos meus amigos que me mantiveram em pé durante essa etapa, em especial Amandita, Murilo, Gustavo, Pedro, Samira, Debora, Fernanda, Martina, Cris, Gabi e Jana.

Ao meu namorado Nilmar, que foi essencial para vencer todos os obstáculos desta jornada, pelo apoio, confiança, respeito e cumplicidade.

E a todas as mulheres que foram essenciais para me tornar a pessoa que sou hoje, me dando a melhor base.

A todos, o meu muito obrigado!

“Se existe magia em lutar além dos limites da resistência, esta é a magia de arriscar tudo por um sonho que ninguém enxerga, só você.”

Menina de Ouro

Resumo

SCHMITT, Jaqueline. **Mapeamento, habilidade competitiva, custo adaptativo e controle de biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes a herbicidas**. 2021.117f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Nos últimos anos, relatos de técnicos e produtores indicam deficiência no controle de plantas daninhas do gênero *Amaranthus* nas lavouras de soja do Rio Grande do Sul. As plantas do gênero *Amaranthus*. Objetivou-se neste trabalho avaliar a suscetibilidade de biótipos de caruru de lavouras de soja gaúchas aos herbicidas glyphosate, chlorimuron, glufosinate, fomesafen e 2,4-D; confirmar a resistência de biótipos de *A. retroflexus* aos herbicidas glyphosate e imazethapyr; identificar e comparar o valor adaptativo entre biótipos resistentes e suscetíveis de *A. retroflexus*; aferir a habilidade competitiva entre biótipo resistente de *A. retroflexus* e a cultura da soja; e, buscar herbicidas alternativos para o controle de biótipo do gênero *Amaranthus*. Os resultados demonstraram que biótipos de carurus sobreviveram a aplicação dos herbicidas glyphosate, imazethapyr e fomesafen. Pode-se confirmar a resistência de dois biótipos de caruru (BR6 e BR3), provenientes do município de Dom Pedrito-RS, com fator de resistência superior a 10 para ambos os biótipos e herbicidas, calculados com os valores de MS. O biótipo suscetível (BS3) apresentou desenvolvimento superior nos primeiros estádios de desenvolvimento, enquanto o biótipo resistente (BR6) foi superior na maioria das variáveis na última avaliação, aos 105 DAT. A soja se sobressaiu competitivamente ao biótipo de *A. retroflexus* resistente (BR6) e constatou-se que a interação intraespecífica para soja e para o caruru foi mais prejudicial do que a competição interespecífica. Os herbicidas atrazine, saflufenacil, mesotrione, 2,4-D e dicamba foram eficientes no controle inicial dos biótipos de *Amaranthus* spp.. A utilização dos herbicidas atrazine, 2,4-D e dicamba foram eficientes no controle de caruru com estatura superior a 7,5 cm. Na pré-emergência, os herbicidas s-metolachlor, pendimethalin, atrazine, trifluralina, metribuzin e sulfentrazone foram eficientes no controle do biótipo de caruru.

Palavras-chave: Caruru. Ecofisiologia. Resistência. Glyphosate. Imazethapyr.

Abstract

SCHMITT, Jaqueline. **Mapeamento, habilidade competitiva, custo adaptativo e controle de biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes a herbicidas**. 2021. 117p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Throughout the last years, technician and producers records have been pointing out deficiency in the weed control from the *Amaranthus* genus in the Rio Grande do Sul soy crops. The *Amaranthus* plants from this genus, also known as redroot pigweed plants, are considered difficult to control because they produce a great amount of seeds, have a long period of germination, emergency intermittent flow. It has been aimed through this paper to essay the redroot pigweed plants biotypes susceptibility in the Southern soy crops to the glyphosate, chlorimuron, glufosinate, fomesafen and 2,4-D herbicides; response - dose curve with *A. retroflexus* biotypes to the glyphosate and imazethapyr herbicides; identify and compare the adaptive value between susceptible and resistant biotypes of *A. retroflexus*; essay the competitive ability between resistant biotype of *A. retroflexus* and the soy culture; and search for alternative herbicides to the biotype control of the *Amaranthus* genus. The results showed that the redroot pigweed plants biotypes survived the glyphosate, imazethapyr or fomesafen applications. It is possible to ensure two redroot pigweed plants biotypes resistance (BR6 and BR3), originally from the city of Dom Pedrito (RS), with resistance factor greater than 10 to both biotypes and herbicides, calculated with the DM value. The susceptible biotype (BS3) showed better development during the firsts development stages, whilst the resistant biotype (BR6) was superior in most of the last evaluation variables, at 105 DAA. Soy outstanded competitively to the resistant *A. retroflexus* biotype (BR6) and it was concluded that the intraspecific interaction to soy and redroot pigweed plants was more harmful than the interspecific competition. The herbicides atrazine, saflufenacil, mesotrione, 2,4-D and dicamba were efficient in the initial control of *Amaranthus* spp biotypes. The usage of atrazine, 2,4-D and dicamba was efficient to control redroot pigweed plants over 7,5 cm tall. In pre emergency, the s-metolachlor, pendimethalin, atrazine, trifluralina, metribuzin e sulfentrazone herbicides were efficient in the redroot pigweed plants biotype control.

Keywords: Redroot Pigweed. Ecophysiology. Resistance. Glyphosate. Imazethapyr.

Lista de Figuras

- Figura 1.** Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de glyphosate na dose máxima ($1,92 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($3,84 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.....43
- Figura 2.** Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de chlorimuron na dose máxima (80 g ha^{-1}) e o dobro da dose recomendada em bula (160 g ha^{-1}), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.....45
- Figura 3.** Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de fomesafen na dose máxima ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.....48
- Figura 4.** Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de glufosinate na dose máxima ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($5,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.....54
- Figura 5.** Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de 2,4-D na dose máxima ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.....55
- Figura 6.** Mapas de falhas de controle aos herbicidas glyphosate ($1,92$ e $3,84 \text{ L ha}^{-1}$) e chlorimuron (80 e 160 g ha^{-1}).....57
- Figura 7.** Controle (%) aos 7 (A), 14(B), 21(C) e 28(D) dias após a aplicação do herbicida glyphosate e redução do acúmulo de MS (%) (E) de biótipos

de *Amaranthus retroflexus*. Suscetível (BS3) e com suspeita de resistência (BR6 e BR3). FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2021.....63

- Figura 8.** Controle (%) aos 7 (A), 14(B), 21(C) e 28(D) dias após a aplicação e redução do acúmulo de MS (%) (E) de biótipos de *Amaranthus retroflexus*. Suscetível (BS3) e com suspeita de resistência (BR6 e BR3) em função da aplicação de doses crescentes do herbicida imazethapyr. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2021.....66
- Figura 9.** Estatura de planta (EP) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....77
- Figura 10.** Comprimento da raiz (CR) de biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistente e suscetíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....78
- Figura 11.** Número de folhas (NF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....79
- Figura 12.** Área foliar (AF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....80
- Figura 13.** Massa seca da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....81
- Figura 14.** Massa seca da raiz (MSR) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....82
- Figura 15.** Índice de área foliar (IAF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado

	dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....	83
Figura 16.	Razão de área foliar (RAF) de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....	84
Figura 17.	Taxa de crescimento relativo (TCR) de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21.....	85
Figura 18.	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para estatura de planta (EP) de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2016.....	87
Figura 19.	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para massa seca da parte aérea (MSPA) de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2016.....	89
Figura 20.	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para área foliar (AF) de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2016.....	89

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Localização dos biótipos de caruru coletados em lavoura de soja na safra 2019/20 no Rio Grande do Sul. Capão do Leão-RS.....	27
Tabela 2.	Herbicidas, produtos comerciais, concentração do produto, doses utilizadas e adjuvantes utilizados nos experimentos de suscetibilidade dos biótipos de caruru no Estado do Rio Grande do Sul.....	33
Tabela 3.	Médias das notas de controle (1 - 10) de Caruru aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) os tratamentos de glyphosate, chlorimuron e fomesafen sobre amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul. Capão do Leão-RS.....	35
Tabela 4.	Controle (notas de 1 - 10) de Caruru aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida Glufosinate, 2,4-D e Dicamba sobre amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul.....	49
Tabela 5.	Valores da dose necessária para promover 50% de redução da produção do controle e redução de 50% da massa seca (GR50) e fator de resistência de biótipos de caruru (<i>Amaranthus retroflexus</i>) em resposta à aplicação de diferentes doses do herbicida glyphosate. Capão do Leão-RS, 2021.....	63
Tabela 6.	Valores da dose necessária para promover 50% de redução da produção do controle e redução de 50% de massa seca (GR50) e fator de resistência de biótipos de caruru (<i>Amaranthus retroflexus</i>) em resposta à aplicação de diferentes doses do herbicida imazethapyr. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....	66
Tabela 7.	Diferenças relativas de produtividade (PR) e produtividade relativa total (PRT), para as variáveis estatura de planta (EP), área foliar (AF) e	

	massa seca da parte aérea (MSPA), nas proporções de plantas de soja:caruru. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....	87
Tabela 8.	Respostas para estatura de planta (EP), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de soja, competindo com caruru, sob diferentes proporções de plantas. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....	90
Tabela 9.	Índices de competitividade de soja competindo com caruru, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....	90
Tabela 10.	Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de dois biótipos de <i>Amaranthus</i> spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e Dom Pedrito, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020.....	98
Tabela 11.	Massa seca da parte aérea (g) de dois biótipos de <i>Amaranthus</i> spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e Dom Pedrito, aos 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020.....	99
Tabela 12.	Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de biótipo de <i>Amaranthus</i> spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório, em três estágios de desenvolvimento, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020.....	100
Tabela 13.	Massa seca da parte aérea (g) de dois biótipos de <i>Amaranthus</i> spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e outro de Dom Pedrito, aos 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020.....	101
Tabela 14.	Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de três biótipos de <i>Amaranthus retroflexus</i> resistentes aos herbicidas Glyphosate e Imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....	104

- Tabela 15.** Massa seca da parte aérea (g) de três biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistentes aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....105
- Tabela 16.** Controle (%) químico alternativo na pré-emergência de um biótipo de *Amaranthus retroflexus* (BR6) resistente aos herbicidas Glyphosate e Imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.....106

Sumário

1 Introdução.....	18
2 CAPÍTULO I – Mapeamento de biótipos de caruru no Estado do Rio Grande do Sul.....	25
2.1 Introdução.....	25
2.2 Material e Métodos.....	26
2.3 Resultados e Discussão.....	34
2.4 Conclusão.....	57
3 CAPÍTULO II – Curva dose-resposta em biótipos de carurus com indício de resistência aos herbicidas inibidores da EPSPs e ALS.....	58
3.1 Introdução.....	58
3.2 Material e Métodos.....	59
3.3 Resultados e Discussão.....	61
3.4 Conclusão.....	68
4 CAPÍTULO III – Custo Adaptativo de <i>Amaranthus retroflexus</i> e Habilidade Competitiva com Soja.....	69
4.1. Introdução.....	69
4.2 Material e Métodos.....	71
4.2.1 Custo Adaptativo em <i>Amaranthus retroflexus</i> Resistente e Suscetível aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	71
4.2.2 Habilidade Competitiva de <i>Amaranthus retroflexus</i> em Convivência com Soja.....	73
4.3 Resultados e Discussão.....	75
4.3.1 Custo Adaptativo em <i>Amaranthus retroflexus</i> Resistente e Suscetível aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	75

4.3.2 Habilidade Competitiva de <i>Amaranthus retroflexus</i> em Convivência com Soja.....	85
4.4 Conclusão.....	91
5 CAPÍTULO IV - Controle Químico Alternativo de <i>Amaranthus spp.</i> Insensíveis aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	92
5.1 Introdução.....	92
5.2 Material e Métodos.....	94
5.2.1 Controle alternativo na Pós-Emergência de Dois Biótipos de <i>Amaranthus spp.</i> Insensíveis aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	95
5.2.2 Controle Alternativo na Pós-Emergência de Biótipos de <i>Amaranthus sp.</i> Insensíveis aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr em Três Estádios de Desenvolvimento.....	95
5.2.3 Controle Alternativo de <i>A. retroflexus</i> na Pós-Emergência de Dois Biótipos Resistentes e Um Suscetível aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	96
5.2.4 Controle Alternativo na Pré-Emergência de Biótipos de <i>A. retroflexus</i> Resistentes os Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	96
5.3 Resultados e Discussão.....	96
5.3.1 Controle Alternativo na Pós-Emergência de Dois Biótipos de <i>Amaranthus spp.</i> Insensíveis aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr.....	97
5.3.2 Controle Alternativo na Pós-Emergência de Biótipos de <i>Amaranthus sp.</i> Insensíveis aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr em Três Estádios de Desenvolvimento.....	99
5.3.3 Controle Alternativo na Pós-Emergência de Dois Biótipos Resistentes e Um Suscetível aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr de <i>A. retroflexus</i> ...	102
5.3.4 Controle Alternativo na Pré-Emergência de Dois Biótipos Resistentes e Um Suscetível aos Herbicidas Glyphosate e Imazethapyr de <i>Amaranthus retroflexus</i>	105
5.4 Conclusão.....	108
6 Considerações Finais.....	109
Referências.....	110

1 Introdução

A soja (*Glycine max*) é o principal carro-chefe do agronegócio brasileiro, sendo responsável por 25% do valor produzido nacionalmente no setor (CNA, 2021). A estimativa de produção para a safra 2020/21 é de 135,86 milhões de toneladas, alcançando 8,8% de aumento quando comparado com a safra anterior. A produção foi incentivada pela alta dos preços internacionais e pelo valor do dólar, o que acarretou no aumento na área destinada para este grão em 4,1% e na produtividade em 8,6% (CONAB, 2021). Dentre os Estados federados, Mato Grosso, Rio Grande do Sul (RS), Paraná e Goiás se destacam como os maiores produtores. O RS apresenta a segunda maior produção nacional, ocupando área plantada de 6,06 milhões de hectares, e média de produção de 3.330 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021), atingindo as expectativas de superar as produções dos anos anteriores.

O principal empecilho das lavouras são as plantas daninhas, as quais causam severos prejuízos na produtividade das culturas. As plantas daninhas são caracterizadas por todas as plantas que ocorrem em local indesejado e causam danos econômicos. A interferência negativa das plantas daninhas na produtividade da cultura da soja varia em função da espécie, população, condições climáticas, tempo e momento da convivência com a cultura.

Nas últimas safras, tem-se observado a ocorrência de escapes de espécies do gênero *Amaranthus*, causando perdas e preocupação para produtores das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os relatos são de controle ineficiente dessas espécies com a utilização de método químico comumente utilizado com herbicidas do grupo dos inibidores das enzimas 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs) e acetolactato sintase (ALS).

O gênero *Amaranthus* possui de 60 a 70 espécies, incluído as 38 espécies domesticadas e cultivadas. São espécies economicamente importantes tanto do ponto de vista produtivo, pelo seu potencial “pseudocereal”, e uso das suas sementes e

folhas na dieta de humanos e animais, ou como plantas daninhas nas culturas agrícolas (COSTA; BORGES, 2005; LEITÃO FILHO et al., 1968). Dentre as espécies daninhas mais comuns no Brasil, destacam-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., 2006).

As espécies de *Amaranthus* que infestam as culturas agrícolas brasileiras são plantas anuais, com reprodução por sementes, apresentam grande período de germinação, rápido crescimento e desenvolvimento, elevada produção de sementes viáveis e longa viabilidade das sementes no solo (HORAK; LOUGHIN, 2000). São espécies sensíveis ao fotoperíodo, sendo considerada planta de dias curtos, ou seja, floresce quando diminui o comprimento do dia. São adaptadas a ambientes diversos e toleram adversidades climáticas, por possuírem eficiência fotossintética (utilização de luz solar e água em via de fixação de carbono C4) (HORAK; LOUGHIN, 2000). A combinação de características morfofisiológicas tornam as plantas eficientes na utilização de CO₂ sob condições de alta temperatura e umidade, contribuindo à adaptabilidade geográfica da planta.

Entre as espécies, temos o *Amaranthus retroflexus* que é popularmente conhecido como caruru, caruru-áspero, caruru-de-raiz-vermelha, caruru-gigante. É uma espécie nativa da América Central e do Nordeste da América do Norte. Algumas espécies podem produzir quantidades superiores a 200.000 sementes por planta (KISSMANN; GROTH, 1999; LORENZI, 2000). Sendo espécie monoica, onde há presença de ambos os sexos na mesma planta, no entanto, relatos demonstram polinização cruzada em até 34%, variando conforme o ambiente, simultaneidade de floração e distância entre plantas de biótipos diferentes e até mesmo plantas de outras espécies pertencentes ao gênero *Amaranthus* (MUJICA; BERTI; IZQUIERDO, 1997). Há relatos de casos de hibridização descritos na literatura que se referem às espécies de *A. hybridus*, *A. quitensi*, *A. tuberculatus*, *A. retroflexus* e *A. palmeri* (TRUCCO et al., 2009). Podendo haver a transferência de material genéticos que conferem a resistência entre espécie deste gênero.

Estudos relatam que o *A. retroflexus* pode promover redução de produtividade nas culturas de algodão, soja, feijão e amendoim (FRANCISCHINIA et al. 2014). As perdas de produtividade na cultura do feijão são de até 58% (AGUYOH; MASIUNAS,

2003); no milho de 5 a 34%; na cultura do sorgo de 46% (KNEZEVIC; WEISE; SWANTON, 1994); em algodão entre 5 e 70% (BUCHANAN; BURNS, 1971); e na soja, observou-se redução de 28% (BENSCH; HORAK; PETERSON, 2003). Contudo, esses valores de perdas variam, pois são dependentes da densidade populacional da planta daninha, período de convivência e época relativa de emergência; e de características da cultura como a sanidade, população, nutrição, vigor, arranjo espacial.

Atualmente tem-se o registro de 47 biótipos de *A. retroflexus* resistentes, onde três desses no Brasil. Os biótipos brasileiros dessa espécie são registrados como resistentes aos inibidores do fotossistema II (PSII), protoporfirinogênio oxidase (PPO) e ALS, não havendo registro do mecanismo de resistência destes biótipos (HEAP, 2021).

A resistência de plantas daninhas é estabelecida como a capacidade herdada de uma planta sobreviver e reproduzir-se após receber dose de herbicida normalmente letal em condições naturais (CHRISTOFFOLETI; LOPEZ-OVEJERO, 2008). Os biótipos resistentes apresentam modificações em seus processos morfofisiológicos com relação ao biótipo suscetível, que lhes conferem capacidade de sobrevivência, conhecidos como mecanismos de resistência. Os mecanismos de resistência podem ser classificados em dois grupos, as alterações decorrentes da alteração no sítio de ação ou superexpressão da enzima (TSR) e os não relacionados ao sítio de ação (NTSR).

A resistência TSR, chamada também de resistência específica, ocorre pela alteração do sítio de ação do herbicida, normalmente na enzima alvo da inibição do herbicida. Essa resistência pode ocorrer pela presença de mutação na sequência de aminoácidos de sua constituição, podendo ainda alterar a conformidade da enzima, incapacitando a ligação da molécula herbicida (TRANEL; WRIGHT, 2002; DÉLYE, 2005; POWLES; YU, 2010). Outro mecanismo de ação relacionado ao sítio de ação é amplificação gênica, onde ocorre a replicação da enzima alvo. Nesse caso, o genoma do biótipo resistente possui cópias a mais do gene que codifica a enzima, comparativamente ao biótipo suscetível; assim, quando exposta ao herbicida, em dose recomendada, não há moléculas suficientes para a inibição de todas as cópias (DÉLYE, 2005; POWLES; YU, 2010).

Os mecanismos de resistência NTSR, estão relacionados a processos físico-químicos ou metabólicos, como é o caso da absorção e translocação do herbicida, onde a molécula acaba não alcançando o sítio alvo de atuação do herbicida; metabolização da molécula de herbicida; e sequestro vacuolar, onde o herbicida acaba sendo aprisionado no vacúolo antes de alcançar o sítio alvo (POWLES; YU, 2010; BECKIE; TARDIF, 2012).

A seleção de biótipos com resistência sofre a interação de diversos fatores bioecológicos, ambientais e agronômicos. Entre os fatores bioecológicos destaca-se o número de ciclos por ano, taxa de reprodução, e se a espécie é alógama ou autógama; relacionados ao ambiente, pode-se citar a frequência inicial de alelos resistentes, número de alelos resistentes, herança materna ou paterna, entre outros; e, dentre os agronômicos tem-se o efeito residual do produto, dose utilizada, frequência e eficácia de aplicação (MONQUEIRO; CHRISTOFFOLETI, 2001).

É importante ressaltar que a utilização do método químico não é capaz de causar alterações nas plantas de forma que elas desenvolvam mecanismos de resistência, essas alterações são naturais, devido a variabilidade genética presente dentro da espécie que ocorre ao acaso; e, com a utilização repetitiva de mesmo mecanismo de ação, acaba selecionando apenas as plantas insensíveis a ele, aumentando a frequência nas safras seguintes (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Os relatos de resistência em espécies de *Amaranthus* são causados pela ocorrência de amplificação de gene *EPSPS*, em até 88 cópias; e resistência metabólica, mediada pelo citocromo P450 ao herbicida imazethapyr no mesmo biótipo de *A. palmeri* (SHYAM et al., 2020). Em outro trabalho que buscou avaliar 100 plantas de *A. palmeri*, observou amplificação do gene *EPSPS* de 50 até 140 vezes, quando comparados aos biótipos suscetível; e substituições de aminoácidos, sendo algumas delas P197S, P197T, P197T e P197A que conferem resistência a herbicidas do grupo das sulfonilureias (CHAUDHARI et al., 2020). No Brasil, registrou-se em 2019, biótipo de *A. hybridus* que apresentava como mecanismo de resistência ao glyphosate mutação tripla (TAP-IVS: T102I, A103V e P106S), resistência descoberta na Argentina em 2018 (OLIVEIRA et al., 2019; PEROTTI et al., 2018). Ainda na Argentina, tem-se o registro de caso de resistência NTSR, envolvendo absorção reduzida e translocação prejudicada em biótipos de *A. palmeri* ao herbicida glyphosate (PALMA-BAUTISTA et

al., 2019). Como pode-se constatar são variados os tipos de resistências descritos na literatura nas espécies de *Amaranthus*.

Para realizar a confirmação de caso de resistência deve ser considerados alguns critérios. Inicialmente deve confirmar a utilização do produto em áreas com escape da planta daninha, utilizando dose indicada em bula. Com a confirmação, deve ser realizado dois experimentos de curva dose resposta, o primeiro com sementes coletadas a campo e o segundo com o parental F2 das sementes coletadas a campo, para garantir que a característica passe de uma geração para outra; e determinar a dose do herbicida que proporciona 50% de controle da população (C50), redução de 50% da produção de matéria seca (GR50) e o fator de resistência (FR). Quando não houver a morte das plantas deve ser realizada a identificação da espécie utilizando chaves de identificações botânicas (SBCPD, 2018) e confirmar o impacto agrônomo que a resistência pode causar. Para complementação da confirmação, pode ser realizado investigações sobre o mecanismo de resistência.

Os biótipos resistentes podem apresentar modificações morfofisiológicas comparados com os suscetíveis, que podem acarretar em alterações no crescimento e desenvolvimento, sendo denominado de custo adaptativo. O custo adaptativo refere-se ao sucesso evolutivo combinando características de sobrevivência e reprodução (HOLT; RADOSEVICH, 1983).

Características das espécies e o comportamento delas no ambiente são as principais áreas de estudo da biologia de plantas daninhas e são fundamentais para a tomada de decisão no momento de escolha do melhor manejo de plantas daninhas. Para avaliar se há alterações, deve-se observar características morfofisiológicas durante o ciclo da espécie e comparar dois ou mais biótipo. No caso de resistência, deve-se comparar biótipos resistente e suscetível oriundos do mesmo local, para reduzir variações derivadas do nicho (HOLT; RADOSEVICH, 1983).

Com a ocorrência de escapes de biótipos resistentes é interessante observar a convivência entre planta daninha e a cultura, avaliando os efeitos intra e interespecíficos. Para determinar a interação competitiva tem-se vários métodos, onde consideram fatores de densidade, proporção e arranjo espacial entre as plantas. No entanto, estudos em série aditiva, associados com série substitutiva são os mais utilizados, principalmente por sua praticidade de condução e análise (AGOSTINETTO et al., 2009). Um dos principais limitantes para a utilização de manejos integrados de

plantas daninhas é a carência de conhecimento básicos da biologia e ecologia dessas plantas. A partir do conhecimento da biologia das plantas daninhas, relacionada com a competição entre planta daninha e a cultura, é mais fácil determinar o momento e a prática mais apropriado para cada realidade.

O manejo de populações onde há a presença de biótipos resistentes é complexo, no entanto, quando se tem resistência múltipla, a preocupação aumenta, como é o caso do caruru que vem apresentando escapes nas lavouras de soja gaúchas com a aplicação dos herbicidas glyphosate e imazethapyr. Nesse sentido, a escolha do herbicida deve ser precisa, com a utilização de diferentes mecanismos de ação e/ou modalidades de aplicação, buscando aumentar o período residual de controle, já que a emergência dessas espécies é escalonada durante todo o ciclo da cultura.

Experimentos de controle podem ser realizados para buscar melhores alternativas de controle dos biótipos resistentes com a finalidade de melhorar a precisão e evitar o escape de novos biótipos com resistência. Para evitar a ocorrência de casos de resistência, deve-se realizar rotações e associações de diferentes mecanismos de ação herbicidas. Já em locais com casos de resistência, a utilização dos herbicidas deve permanecer na rotação, sabendo que na área há a existência de inúmeras espécies de plantas daninhas e de biótipos da mesma espécie suscetíveis a eles (AGOSTINETTO; VARGAS, 2014).

As hipóteses deste trabalho são que há ocorrência de biótipos do gênero *Amaranthus* resistentes nas lavouras de soja do Rio Grande do Sul; as espécies de *Amaranthus* oriundas de Dom Pedrito-RS apresentam resistência múltipla aos herbicidas glyphosate e imazethapyr; o biótipo de *A. retroflexus* suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr apresenta desenvolvimento superior ao biótipo resistente; as plantas de soja apresentam maior competitividade que as de *A. retroflexus* resistentes aos herbicidas glyphosate e imazethapyr; e os biótipos de *A. retroflexus* são suscetíveis à herbicidas auxínicos, inibidores da síntese de carotenoides, inibidores de protoporfirinogênio oxidase, inibidores do fotossistema II e da glutamina sintase.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a suscetibilidade de biótipos de caruru de lavouras de soja do Rio Grande do Sul aos herbicidas glyphosate, chlorimuron, glufosinate, fomesafen e 2,4-D. Confirmar a

resistência biótipos de *A. retroflexus* oriundos do município de Dom Pedrito os herbicidas glyphosate e imazethapyr. Identificar e comparar o valor adaptativo entre biótipos resistentes e suscetíveis de *A. retroflexus* e a habilidade competitiva entre biótipo resistente de *A. retroflexus* e a cultura da soja. Buscar herbicidas alternativos para controlar biótipos de *A. retroflexus* resistentes e suscetíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr.

2 CAPÍTULO I – Mapeamento de biótipos de caruru no Estado do Rio Grande do Sul

2.1 Introdução

A versatilidade que a *Glycine max* apresenta em seu uso tem levado a busca cada vez maior deste grão em todo mundo. Nesse aspecto, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial do grão. Mesmo com o cenário atual de pandemia da COVID-19, as perspectivas indicam que o Brasil alcance recorde em produção e vendas ao mercado externo na safra 2020/21, com estimativa de produção de 135,86 milhões de toneladas, 8,8% superior a safra anterior (CONAB, 2021). O Rio Grande do Sul destaca-se no cenário nacional (CONAB, 2021).

As plantas daninhas se sobressaem dentre os fatores abióticos que afetam a produtividade das culturas agrícolas, causando perdas qualitativas e quantitativas. As perdas ocasionadas pelas plantas daninhas podem estar em torno de 90%, sem a utilização de medidas de controle e ficando em média entre 13 e 15% em campos de produção de grãos manejados (LORENZI, 2006; EMBRAPA, 2021a; SOLTANI et al., 2021).

Em lavouras de soja é comum encontrar diferentes espécies pertencentes ao gênero *Amaranthus*, havendo diferentes níveis de interferência, com registros de perdas na ordem de 14 a 78% da produtividade (HORAK; LOUGHIN, 2000). Estas espécies se destacam pela germinação escalonada; alta produção de sementes; e rápido crescimento e desenvolvimento, fatores estes que aumentam a probabilidade de altas infestações, a competitividade das espécies e ocasionam dificuldades no manejo (HORAK; LOUGHIN, 2000; LORENZI, 2000).

Relatos de técnicos e produtores indicam falhas de controle de espécies de caruru em lavouras de soja no Estado do Rio Grande do Sul. Isso pode decorrer do manejo de plantas daninhas ser baseado principalmente no controle químico, devido

a sua praticidade, baixo custo e eficiência. Nas últimas décadas, os herbicidas mais utilizados para controle de espécies de caruru na lavoura de soja foram os herbicidas inibidores de ALS e, após a introdução das cultivares transgênicas, o glyphosate. Os herbicidas inibidores da enzima ALS são de grande importância para o controle de plantas daninhas, em virtude de apresentarem baixa toxicidade em animais, alta seletividade às culturas, alta eficiência e baixas doses (ROMAN et al., 2005). Por sua vez, o uso do glyphosate difundiu-se rapidamente por apresentar amplo espectro de controle de plantas em estádios mais avançados e baixo custo quando comparado com outras moléculas herbicidas.

O uso contínuo e indiscriminado de herbicidas impõe alta pressão de seleção às populações de plantas daninhas, acelerando a evolução de biótipos resistentes (BETTS et al., 1992). Este fato pode ter ocorrido nas lavouras de soja gaúchas manejadas continuamente, com os mesmos grupos químicos de herbicidas, selecionando biótipos de caruru resistentes.

No Brasil, o primeiro registro de *Amaranthus* resistente ocorreu em 2011, em biótipos de *A. retroflexus* e *A. viridis* resistentes à atrazine, prometryn e trifloxysulfuron-sodium. Posteriormente já foram registrados casos de resistência, sendo eles nas espécies de *A. retroflexus*, em 2012 (pyrithiobac-sodium, trifloxysulfuron-sodium) e 2014 (fomesafen); *A. palmeri*, em 2015 (glyphosate) e 2016 (imazethapyr, chlorimuron-ethyl, cloransulam-methyl, glyphosate); e *A. hybridus* (syn: quitensis), em 2018 (chlorimuron-ethyl, glyphosate) (HEAP, 2021).

Nesse cenário, este trabalho teve como hipótese que os biótipos de caruru remanescentes nas lavouras de soja gaúchas são insensíveis aos herbicidas glyphosate, chlorimuron, fomesafen, glufosinate e 2,4-D. Nesse sentido, objetivou-se testar a suscetibilidade dos biótipos de caruru remanescentes nas lavouras de soja de 92 municípios gaúchos aos herbicidas glyphosate, chlorimuron, fomesafen, glufosinate e 2,4-D para construção de mapas de suscetibilidade.

2.2 Material e Métodos

As sementes de caruru foram obtidas através de coletas realizadas no mês de março de 2020, em lavouras de soja RR infestadas com caruru. As coletas foram realizadas por colaboradores do Centro de Herbologia (CEHERB/FAEM/UFPel). Ao total foram coletados 225 biótipos em 92 municípios no Estado do Rio Grande do Sul.

Caracterizou-se para esse estudo, biótipo como sementes coletadas de um ponto georreferenciado, sendo ele de uma única planta, ou de múltiplas plantas. Para o georreferenciamento utilizou coordenadas geográficas de Global Positioning System - GPS (Tabela 1). As sementes após coletadas, foram homogeneizadas, identificadas e armazenadas na ausência de luz e de umidade.

Tabela 1. Localização dos biótipos de caruru coletados em lavoura de soja na safra 2019/20 no Rio Grande do Sul. Capão do Leão-RS.

MUNICÍPIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		Nº BIÓTIPO
	Latitude	Longitude	
Amaral Ferrador	30°86'42.12"S	52°09'95.73"W	213
Arroio Grande	32°11'37.57"S	53°16'37.65"W	208
Arroio Grande	32°10'66.98"S	53°17'22.98"W	215
Arroio Grande	32°12'40.18"S	52°94'54.27"W	216
Arvorezinha	28°86'18.63"S	52°23'01.92"W	148
Augusto Pestana	28°47'15.32"S	53°96'36.87"W	16
Augusto Pestana	28°53'82.13"S	54°04'74.83"W	38
Augusto Pestana	28°46'56.47"S	53°99'58.673"W	50
Augusto Pestana	28°52'17.85"S	54°01'53.33"W	80
Bagé	31°33'47.08"S	53°97'12.88"W	19
Bagé	31°28'44.87"S	54°08'48.53"W	22
Bagé	31°23'26.53"S	54°25'45.77"W	99
Bagé	31°19'78.52"S	54°31'33.93"W	100
Barra Funda	27°56'25.093"S	52°58'51.048"W	122
Barra Funda	27°57'16.307"S	53°13'17.51"W	124
Barra Funda	27°56'42.571"S	53°21'85.72"W	126
Barracão	27°67'79.75"S	51°50'58.33"W	151
Barros Cassal	29°13'94.67"S	52°64'12.77"W	177
Barros Cassal	29°14'72.95"S	52°59'38.95"W	178
Boa Vista Do Cadeado	28°56'26.5"S	53°81'21.83"W	37
Boa Vista Do Cadeado	28°55'58.08"S	53°80'35.05"W	41
Bom Progresso	27°63'91.68"S	53°85'85.77"W	165
Bom Progresso	27°64'74.48"S	53°85'01.2"W	176
Bom Progresso	27°55'51.73"S	53°86'59.5"W	180
Cachoeira Do Sul	30°15'10.68"S	53°01'35.7"W	222
Cachoeira Do Sul	30°15'51.33"S	52°42'77.09"W	224
Caibaté	28°34'74.48"S	54°65'00.88"W	18
Caibaté	28°39'14.53"S	54°65'29.77"W	29

Camaquã	30°86'60.13"S	51°76'72.68"W	221
Camargo	27°80'39.17"S	52°74'16.98"W	185
Camargo	28°57'55.22"S	52°19'81.08"W	190
Camargo	28°56'82.93"S	52°26'43.03"W	194
Campinas Do Sul	27°71'57.95"S	52°61'52.48"W	155
Campinas Do Sul	27°79'57.97"S	52°67'43.13"W	175
Campinas Do Sul	27°74'76.03"S	52°63'33.32"W	198
Campo Novo	27°73'89.63"S	53°89'89.43"W	128
Campo Novo	27°71'97.38"S	53°84'38.00"W	130
Campo Novo	27°73'68.15"S	53°84'99.18"W	174
Canguçu	31°44'49.63"S	52°63'55.38"W	150
Canguçu	31°33'55.4"S	52°74'35.33"W	212
Capão Bonito Do Sul	28°08'60.47"S	51°46'81.85"W	182
Carazinho	28°28'71.48"S	52°70'67.67"W	84
Carazinho	28°23'90.17"S	52°81'09.38"W	94
Carazinho	28°28'75.57"S	52°75'96.42"W	95
Caseiros	28°27'43.3"S	51°87'80.97"W	173
Cerrito	31°78'51.2"S	52°83'72.87"W	209
Cerrito	31°76'30.38"S	52°83'40.85"W	214
Cerrito	31°73'03.08"S	52°83'49.1"W	220
Condor	28°11'23.73"S	53°42'62.27"W	42
Coxilha	28°13'15.25"S	52°28'43.3"W	70
Coxilha	28°05'30.67"S	52°25'59.6"W	113
Cruz Alta	28°57'70.07"S	53°56'68.088"W	26
Cruz Alta	28°64'70.87"S	53°69'74.95"W	52
Cruz Alta	28°65'51.88"S	53°65'70.53"W	88
Cruz Alta	28°72'21.8"S	53°59'84.88"W	106
Dom Pedrito	31°07'47.5"S	54°48'60.48"W	27
Dom Pedrito	30°86'98.42"S	54°56'37.58"W	63
Dom Pedrito	31°06'86.97"S	54°36'19.27"W	6
Dom Pedrito	31°06'88.44"S	54°36'16.13"W	10
Dom Pedrito	31°09'30.7"S	54°36'16.2"W	4
Dom Pedrito	31°06'91.4"S	54°36'16.27"W	14
Dom Pedrito	31°06'91.4"S	54°36'16.27"W	5
Dom Pedrito	31°06'91.4"S	54°36'16.27"W	2
Dom Pedrito	31°09'30.7"S	54°21'48.9"W	15
Dom Pedrito	31°06'88.44"S	54°36'16.13"W	3
Dom Pedrito	31°08'89.1"S	54°36'94.01"W	1
Dom Pedrito	31°08'89.1"S	54°36'94.01"W	8

Dom Pedrito	31°08'89.1"S	54°36'94.01"W	9
Dom Pedrito	31°08'89.1"S	54°36'94.01"W	11
Dom Pedrito	31°08'89.1"S	54°36'94.01"W	13
Dom Pedrito	31°14'15.00"S	54°14'56.6"W	7
Dom Pedrito	31°14'15.00"S	54°14'56.6"W	12
Encruzilhada Do Sul	30°65'94.32"S	52°63'67.42"W	211
Erechim	27°67'88.13"S	52°10'15.8"W	97
Erechim	27°75'43.33"S	52°27'93.12"W	108
Erechim	27°68'27.28"S	52°37'43.78"W	132
Erechim	27°63'34.207"S	52°18'55.9"W	133
Erechim	27°66'15.62"S	52°14'17.53"W	167
Ernestina	28°60'60.48"S	52°68'30.95"W	92
Ernestina	29°59'90.5"S	52°65'97.45"W	119
Gaurama	27°58'47.93"S	52°13'41.33"W	169
Giruá	28°02'01.77"S	54°37'47.85"W	47
Giruá	28°05'37.58"S	54°35'75.33"W	57
Giruá	28°07'38.13"S	54°35'22.82"W	61
Giruá	27°99'74.43"S	54°39'09.1"W	62
Giruá	28°11'20.02"S	54°33'78.35"W	73
Giruá	28°18'61.38"S	54°32'25.97"W	86
Gramado Dos Loureiros	27°23'53.17"S	52°54'07.69"W	25
Gramado Dos Loureiros	27°26'58.35"S	52°53'16.27"W	75
Gramado Dos Loureiros	27°44'96.38"S	52°88'76.37"W	146
Ibiaçá	28°05'63.15"S	51°86'81.07"W	112
Ibiaçá	28°05'79.28"S	51°83'20.72"W	197
Ibirapuitã	28°63'24.55"S	52°49'83.83"W	161
Ijuí	28°48'54.32"S	53°83'62.59"W	45
Ijuí	28°43'80.32"S	53°88'79.18"W	81
Ijuí	28°43'49.68"S	53°93'73.23"W	120
Itaara	29°51'90.23"S	53°72'15.6"W	98
Jacutinga	27°71'91.92"S	52°54'59.57"W	164
Jóia	28°91'88.35"S	54°24'67.02"W	24
Jóia	28°97'38.27"S	54°35'50.23"W	31
Jóia	28°76'17.57"S	54°17'03.22"W	35
Jóia	28°95'59.3"S	54°35'51.78"W	39
Jóia	28°74'86.38"S	54°16'75.08"W	44
Jóia	28°63'03.58"S	54°12'05.9"W	58
Jóia	28°77'68.32"S	54°16'41.82"W	74
Jóia	28°57'33.72"S	54°09'05.75"W	89

Júlio De Castilhos	29°26'46.33"S	53°66'66.53"W	103
Júlio De Castilhos	29°35'16.95"S	53°67'29.32"W	107
Lagoa Vermelha	28°30'29.87"S	51°37'87.53"W	162
Manoel Viana	29°59'77.57"S	55°32'93.38"W	102
Marau	28°47'82.98"S	52°36'55.12"W	140
Marau	28°48'20.13"S	52°24'49.68"W	159
Marcelino Ramos	27°56'52.45"S	51°90'20.05"W	144
Marcelino Ramos	27°56'72.247"S	51°90'67.1"W	172
Maximiliano De Almeida	27°58'81.85"S	51°85'29.92"W	137
Maximiliano De Almeida	27°62'58.5"S	51°81'32.23"W	166
Mormaço	28°70'07.08"S	52°68'72.63"W	147
Morro Redondo	31°47'03.4"S	52°50'32.8"W	226
Morro Redondo	31°47'03.4"S	52°50'32.8"W	227
Muitos Capões	28°33'58.83"S	51°30'28.2"W	168
Muitos Capões	28°34'32.85"S	51°14'99.93"W	170
Nicolau Vergueiro	28°53'89.62"S	52°47'29.22"W	160
Nicolau Vergueiro	28°67'45.13"S	52°62'20.6"W	179
Nonoai	27°24'20.58"S	52°50'53.4"W	34
Nonoai	27°25'19.34"S	52°52'02.22"W	76
Nonoai	27°24'37.62"S	52°49'43.62"W	77
Nova Boa Vista	27°59'34.72"S	52°57'36.207"W	123
Nova Boa Vista	27°58'93.24"S	52°57'21.2"W	125
Novo Barreiro	27°91'66.43"S	53°07'76.63"W	85
Paim Filho	27°76'31.03"S	51°69'62.4"W	184
Paim Filho	27°69'65.61"S	51°77'83.72"W	189
Paim Filho	27°74'08.43"S	51°79'30.32"W	193
Paim Filho	27°71'51.72"S	51°74'58.78"W	205
Palmeira Das Missões	27°89'51.85"S	53°26'27.72"W	49
Palmeira Das Missões	27°96'79.02"S	53°32'50.65"W	82
Palmeira Das Missões	28°00'85.57"S	53°34'34.32"W	83
Pântano Grande	30°82'77.7"S	52°25'12.4"W	223
Passo Fundo	28°34'70.83"S	52°49'11.1"W	104
Passo Fundo	28°36'12.2"S	52°31'44.57"W	114
Passo Fundo	28°34'49.2"S	52°32'42.78"W	115
Passo Fundo	28°35'38.92"S	52°46'66.82"W	116
Paulo Bento	27°72'21.15"S	52°44'49.97"W	143
Pedro Osório	32°02'47.02"S	53°05'28.37"W	217
Planalto	27°21'21.445"S	52°02'38.03"W	78
Planalto	27°34'27.85"S	53°03'10.95"W	136

Planalto	27°61'05.25"S	52°85'31.55"W	186
Planalto	27°33'96.6"S	53°06'82.85"W	191
Rio Grande	30°07'47.82"S	52°36'61.62"W	149
Rio Pardo	29°59'47.52"S	52°34'01.7"W	225
Ronda Alta	27°81'00.63"S	52°69'47.38"W	141
Ronda Alta	27°80'35.8"S	52°75'05.97"W	181
Ronda Alta	27°80'93.25"S	52°77'85.93"W	187
Ronda Alta	27°69'33.2"S	52°06'34.87"W	68
Rosário Do Sul	30°24'06.8"S	54°96'89.08"W	54
Santa Margarida Do Sul	30°34'40.1"S	53°97'84.35"W	56
Santa Margarida Do Sul	30°34'19.65"S	53°97'01.83"W	64
Santa Margarida Do Sul	30°34'96.07"S	53°99'33.58"W	66
Santa Rosa	27°88'82.7"S	54°45'43.15"W	138
Santa Rosa	27°93'97.87"S	54°43'64.78"W	139
Santa Rosa	27°81'27.07"S	54°39'74.12"W	195
Santa Rosa	27°82'44.43"S	54°41'30.07"W	196
Santa Rosa	27°85'79.55"S	54°42'30.85"W	199
Santa Rosa	27°80'72.92"S	54°39'37.72"W	206
Santiago	29°04'24.12"S	54°61'22.38"W	40
Santiago	29°08'83.25"S	54°77'17.42"W	30
Santo Ângelo	28°25'55.2"S	54°30'32.83"W	17
Santo Ângelo	28°23'68.62"S	54°31'25.15"W	36
Santo Antônio Das Missões	28°41'22.57"S	54°57'55.9"W	53
Santo Antônio Das Missões	28°46'62.822"S	55°13'97.65"W	28
Santo Antônio Das Missões	28°47'94.42"S	55°19'77.03"W	55
Santo Antônio Das Missões	28°49'25.42"S	55°38'57.97"W	60
São Borja	28°56'13.38"S	55°58'43.78"W	20
São Borja	28°64'43.05"S	55°84'98.83"W	21
São Borja	28°54'73.58"S	55°56'08.8"W	121
São Borja	28°55'03.65"S	55°56'92.23"W	59
São Gabriel	30°36'46.17"S	54°24'46.37"W	65
São Gabriel	30°78'00.72"S	54°40'65.62"W	69
São João Da Urtiga	27°82'32.07"S	51°82'58.02"W	207
São José Do Inhacorá	27°72'40.65"S	54°18'90.58"W	145
São Jose Do Ouro	27°84'08.98"S	51°44'40.72"W	163
São José Do Ouro	27°76'18.4"S	51°57'43.92"W	134
São Lourenço Do Sul	31°29'19.68"S	52°06'56.87"W	210
São Lourenço Do Sul	31°27'06.43"S	52°06'29.42"W	218
São Lourenço Do Sul	31°28'62.43"S	52°06'93.45"W	219

São Luiz Gonzaga	28°44'13.1"S	54°96'41.65"W	23
São Luiz Gonzaga	28°40'25.62"S	54°67'87.65"W	43
São Luiz Gonzaga	28°40'81.08"S	54°70'72.13"W	48
São Luiz Gonzaga	28°41'90.72"	54°85'04.98"W	51
São Luiz Gonzaga	28°42'26.92"S	55°06'39.87"W	79
São Luiz Gonzaga	28°43'56.25"S	55°08'35.62"W	93
São Martinho	27°72'24.55"S	53°92'40.17"W	152
São Martinho	27°72'10.87"S	53°92'74.9"W	154
São Miguel Das Missões	28°40'43.05"S	54°54'09.85"W	71
São Miguel Das Missões	28°44'00.67"S	54°57'43.28"W	72
Selbach	28°64'41.28"S	52°99'23.72"W	96
Sertão	28°01'05.27"S	52°23'65.5"W	110
Tapejara	28°06'83.97"S	61°96'34.6"W	111
Tapera	28°64'74.4"S	52°92'30.87"W	90
Tapera	28°64'25.95"S	52°87'70.67"W	91
Tapera	29°09'21.00"S	52°05'86.62"W	109
Tenente Portela	27°38'70.42"S	53°87'85.55"W	129
Tenente Portela	27°37'47.95"S	53°78'03.38"W	135
Tenente Portela	27°36'83.18"S	53°77'50.35"W	157
Três De Maio	27°74'30.87"S	54°21'14.87"W	131
Três De Maio	27°75'81.87"S	54°25'88.65"W	142
Três De Maio	27°76'43.02"S	54°26'60.52"W	202
Três De Maio	27°77'47.75"S	54°28'73.83"W	203
Três De Maio	27°77'49.7"S	54°32'99.62"W	204
Três Palmeiras	27°72'28.45"S	52°82'04.2"W	183
Três Passos	27°48'57.02"S	53°89'75.8"W	153
Três Passos	27°41'37.43"S	53°90'70.99"W	156
Trindade Do Sul	27°49'90.05"S	52°90'62.2"W	188
Tupanci Do Sul	27°91'07.97"S	51°45'91.85"W	200
Tupanciretã	28°99'72.5"S	53°64'93.42"W	101
Unistalda	29°04'87.18"S	55°14'20.62"W	46
Vacaria	28°34'59.55"S	51°14'41.38"W	171
Vacaria	23°43'85.02"S	50°99'93.5"W	192
Viadutos	27°57'92.38"S	51°97'29.33"W	127
Victor Graeff	28°61'63.05"S	52°73'16.7"W	117
Victor Graeff	28°61'40.6"S	52°72'44.5"W	118
Vila Lângaro	28°13'39.33"S	52°17'19.07"W	67
Vila Lângaro	28°12'30.97"S	52°08'82.33"W	87
Vila Maria	28°53'10.78"S	52°19'25.8"W	105

Vila Maria	28°54'99.63"S	52°21'15.33"W	158
Vila Maria	28°54'65.32"S	52°21'01.07"W	201

Os testes de suscetibilidade dos biótipos de caruru foram realizados entre os meses de março a junho e de outubro a novembro de 2020, em casa de vegetação do CEHERB/FAEM/UFPel, localizada no município de Capão do Leão-RS.

Para semeadura, realizou-se o procedimento de superação de dormência, onde utilizou-se escarificação com lixa grossa e embebição em solução de ácido giberélico (3 mmol) durante três dias, em BOD com fotoperíodo de 16h dia e 8h noite, e temperatura de 35°C dia e 30°C noite. Após esse período, as sementes foram transferidas para bandejas de isopor, com substrato para produção das mudas. Quando estabelecidas, foram transplantadas em copos de 200mL, contendo apenas solo.

O mapeamento foi dividido em 10 experimentos, onde cada um deles buscou avaliar a suscetibilidade dos biótipos de caruru a cada dose de herbicida sem a presença de testemunhas sem herbicidas (Tabela 2). A aplicação dos herbicidas ocorreu quando as plantas se encontravam com 4 a 6 folhas. Para a aplicação utilizou-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ e volume de calda de 150 L ha⁻¹.

Tabela 2. Herbicidas, produtos comerciais, concentração do produto, doses utilizadas e adjuvantes utilizados nos experimentos de suscetibilidade dos biótipos de caruru no Estado do Rio Grande do Sul.

Herbicida	Nome comercial	Concentração do produto	Dose	Adjuvante	Dose
1x dose					
Glyphosate	Zapp®	960 e.a.	1,92 L ha ⁻¹	-	-
Chlorimuron	Classic®	20 i.a.	80 g ha ⁻¹	Veget Oil®	0,5 v/v
Fomesafen	Flex®	250 i.a.	1,0 L ha ⁻¹	Agral®	0,2 v/v
Glufosinate	Finale®	500 i.a.	2,5 L ha ⁻¹	Aureo®	0,2 v/v
2,4-D	U 46®	670 e.a.	1,0 L ha ⁻¹	-	-
2x dose					
Glyphosate	Zapp®	1920 e.a.	3,84 L ha ⁻¹	-	-
Chlorimuron	Classic®	40 i.a.	160 g ha ⁻¹	Veget Oil®	0,5 v/v
Fomesafen	Flex®	500 i.a.	2,0 L ha ⁻¹	Veget Oil®	0,5 v/v
Glufosinate	Finale®	1000 i.a.	5,0 L ha ⁻¹	Agral®	0,2 v/v
2,4-D	U 46®	1340 e.a.	2,0 L ha ⁻¹	-	-

O controle foi avaliado visualmente aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA), utilizando-se escala numérica de um (1) a dez (10), onde um (1) correspondeu à ausência de sintomas de intoxicação e dez (10) a morte da planta. Os dados foram tabelados, calculado a média para cada biótipo, e posteriormente

construídos mapas de suscetibilidade dos biótipos avaliados, utilizando a avaliação aos 28 DAA.

Para a elaboração dos mapas de controle utilizou-se 4 classes, divididas pelas médias das notas, sendo elas: nota 1 (plantas não comprometidas pela aplicação dos herbicidas), nota de 2-5 (plantas com $\leq 50\%$ de comprometimento pela aplicação dos herbicidas), nota de 6-9 (plantas com $> 50\%$ de comprometimento pela aplicação dos herbicidas), e nota 10 (plantas 100% de comprometidas pela aplicação dos herbicidas). Os municípios com coleta de biótipos de caruru foram coloridos com vermelho para a classe 1; amarelo para a classe 2-5; roxo para a classe 6-9; e verde para a classe 10. Em municípios que apresentavam biótipos com suscetibilidade diferente utilizou-se a cor do biótipo com menor controle.

Elaborou-se mapas de suspeita de resistência, utilizando os biótipos que receberam nota 1 para os herbicidas glyphosate e imazethapyr. Onde os municípios com falhas de controle foram coloridos de amarelo para o herbicida glyphosate, alaranjado ao herbicida imazethapyr e vermelho para ambos os herbicidas. Para elaboração dos mapas foi utilizado o programa QGIS.

2.3 Resultados e Discussão

Observou-se diferentes graus de suscetibilidade dos biótipos de caruru aos herbicidas testados (Tabelas 3 e 4). As médias das avaliações visuais de controle das duas doses dos herbicidas glyphosate ($1,92$ e $3,84 \text{ L ha}^{-1}$), chlorimuron (80 e 160 g ha^{-1}) e fomesafen ($1,0$ e $2,0 \text{ L ha}^{-1}$) estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Médias das notas de controle (1 - 10) de caruru aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) os tratamentos de glyphosate, chlorimuron e fomesafen sobre amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul. Capão do Leão-RS.

Nº Biótipos	Municípios	Glyphosate				Chlorimuron				Fomesafen			
		1,92 L ha ⁻¹		3,84 L ha ⁻¹		80 g ha ⁻¹		160 g ha ⁻¹		1,0 L ha ⁻¹		2,0 L ha ⁻¹	
		14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA
213	Amaral Ferrador	10	10	10	10	9	10	9	10	8	8	8	9
208	Arroio Grande	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	Arroio Grande	3	2	3	2	5	5	6	7	9	9	10	10
216	Arroio Grande	1	1	6	6	7	8	7	6	10	10	10	10
148	Arvorezinha	1	1	1	1	3	1	9	3	10	10	10	10
16	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
38	Augusto Pestana	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
50	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10
80	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
19	Bagé	1	1	1	1	3	4	9	4	10	10	10	10
22	Bagé	3	3	1	5	3	1	6	6	10	10	10	10
99	Bagé	1	1	1	1	9	10	9	9	10	10	10	10
100	Bagé	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
122	Barra Funda	10	10	10	10	8	5	1	1	10	10	10	10
124	Barra Funda	10	10	10	10	9	10	8	10	8	10	10	10
126	Barra Funda	10	10	10	10	8	10	8	10	10	10	10	10
151	Barracão	10	10	10	10	9	10	8	10	7	7	10	10
177	Barros Cassal	10	10	10	10	10	10	-	-	10	10	10	10
178	Barros Cassal	10	10	10	10	7	10	-	-	-	-	-	-
37	Boa Vista do Cadeado	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
41	Boa Vista do Cadeado	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
165	Bom Progresso	10	10	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10

180	Bom Progresso	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
224	Cachoeira do Sul	1	1	1	1	9	10	4	6	10	10	10	10
18	Caibaté	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10
29	Caibaté	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10
221	Camaquã	4	5	7	6	7	8	5	6	9	9	9	9
185	Camargo	10	10	10	10	8	9	8	8	10	10	10	10
190	Camargo	1	1	1	3	8	3	4	2	10	10	10	10
175	Campinas do Sul	10	10	10	10	9	10	-	-	10	10	-	-
198	Campinas do Sul	10	10	10	10	9	9	8	10	9	10	10	10
128	Campo Novo	10	10	10	10	8	8	8	7	10	9	10	10
174	Campo Novo	10	10	10	10	10	10	9	10	-	-	-	-
150	Canguçu	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
212	Canguçu	10	10	-	-	10	10	-	-	10	10	-	-
182	Capão Bonito do Sul	1	1	2	2	4	4	4	3	8	8	9	9
84	Carazinho	10	10	10	10	8	3	3	2	10	10	10	10
94	Carazinho	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	Carazinho	10	10	10	10	7	1	7	5	10	10	10	10
173	Caseiros	10	10	10	10	10	10	-	-	10	10	10	10
209	Cerrito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
214	Cerrito	10	10	10	10	9	10	9	10	9	9	10	9
220	Cerrito	10	10	10	10	9	10	8	10	8	9	9	8
42	Condor	10	10	10	10	9	7	1	1	10	10	10	10
70	Coxilha	10	10	10	10	9	9	8	10	10	10	10	10
26	Cruz Alta	10	10	10	10	2	4	6	2	10	10	10	10
52	Cruz Alta	10	10	10	10	-	-	9	10	10	10	10	10
88	Cruz Alta	10	10	-	-	10	10	-	-	-	-	10	10
106	Cruz Alta	1	1	8	4	3	2	2	1	9	10	10	10
1	Dom Pedrito	-	-	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10

2	Dom Pedrito	3	3	1	3	10	3	9	7	-	-	10	10
3	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
4	Dom Pedrito	1	1	1	1	5	1	9	6	10	10	8	10
5	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	10
6	Dom Pedrito	3	3	5	7	1	4	5	8	10	10	10	10
7	Dom Pedrito	1	1	1	1	7	6	9	6	10	10	10	10
8	Dom Pedrito	10	10	10	10	6	6	2	2	9	8	10	10
9	Dom Pedrito	10	10	10	10	8	9	8	10	9	9	9	10
10	Dom Pedrito	10	10	6	8	9	10	9	10	9	8	10	10
11	Dom Pedrito	10	10	10	10	-	-	8	10	10	10	10	10
12	Dom Pedrito	1	1	1	1	7	4	8	3	10	10	10	10
13	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
15	Dom Pedrito	1	1	1	1	8	1	9	7	9	10	9	10
27	Dom Pedrito	1	1	1	1	3	3	3	3	9	10	9	10
63	Dom Pedrito	1	1	1	1	9	1	8	10	9	9	10	10
211	Encruzilhada do Sul	10	10	10	10	9	10	10	10	8	8	10	10
97	Erechim	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10	-	-
108	Erechim	1	1	1	1	9	10	8	10	9	10	10	10
132	Erechim	10	10	10	10	9	10	8	10	9	10	10	10
133	Erechim	-	-	10	10	-	-	9	10	-	-	-	-
167	Erechim	1	1	1	3	1	1	2	2	10	10	10	10
92	Ernestina	10	10	10	10	8	8	10	9	8	8	9	9
119	Ernestina	10	10	10	10	5	4	5	5	7	6	10	10
169	Gaurama	10	10	10	10	9	10			10	10	10	10
47	Giruá	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
57	Giruá	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10
61	Giruá	10	10	10	10	8	8	8	9	7	8	9	10
62	Giruá	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10

73	Girúá	10	10	10	10	8	9	7	10	10	10	10	10
86	Girúá	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Gramado dos Loureiros	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
75	Gramado dos Loureiros	-	-	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
146	Gramado dos Loureiros	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
112	Ibiaçá	10	10	10	10	9	9	7	8	10	10	10	10
197	Ibiaçá	10	10	10	10	9	9	8	10	10	10	10	10
161	Ibirapuitã	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10	10	10
45	Ijuí	10	10	10	10	8	9	9	10	10	10	10	10
81	Ijuí	10	10	10	10	7	9	8	10	-	-	10	10
98	Itaara	1	1	1	1	2	1	2	1	9	10	10	10
164	Jacutinga	10	10	10	10	-	-	8	10	-	-	10	10
24	Jóia	10	10	10	10	8	7	9	10	10	10	10	10
74	Jóia	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
31	Jóia	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10
35	Jóia	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
39	Jóia	10	10	10	10	6	6	10	10	10	10	10	10
44	Jóia	10	10	10	10	9	10	5	10	10	10	10	10
58	Jóia	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
89	Jóia	10	10	10	10	9	9	-	-	10	10	10	10
103	Júlio de Castilhos	4	6	2	1	1	2	3	1	10	10	10	10
107	Júlio de Castilhos	1	1	-	-	7	4	1	1	10	10	10	10
162	Lagoa Vermelha	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
102	Manoel Viana	10	10	10	10	7	8	8	10	8	8	10	9
140	Marau	1	1	8	4	2	1	8	1	8	9	10	10
159	Marau	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
144	Marcelino Ramos	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
172	Marcelino Ramos	10	10	10	10	10	10	-	-	10	10	10	10

137	Maximiliano de Almeida	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	10	10
166	Maximiliano de Almeida	10	10	10	10	8	10	7	10	-	-	10	10
147	Mormaço	10	10	10	10	9	10	8	10	-	-	-	-
227	Morro Redondo	10	10	10	10	8	9	8	10	8	8	9	9
168	Muitos Capões	10	10			9	10	9	10	10	10	10	10
170	Muitos Capões	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10
160	Nicolau Vergueiro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
179	Nicolau Vergueiro	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
34	Nonoai	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
76	Nonoai	-	-	10	10	-	-	9	9	-	-	10	10
77	Nonoai	10	10	10	10	9	10	9	10	8	9	10	10
123	Nova Boa Vista	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
125	Nova Boa Vista	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
85	Novo Barreiro	10	10	10	10	8	9	9	10	9	8	10	10
184	Paim Filho	10	10	10	10	8	10	9	10	10	9	10	10
189	Paim Filho	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
205	Paim Filho	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
49	Palmeira das Missões	10	10	10	10	10	10	9	10	-	-	10	10
82	Palmeira das Missões	10	10	10	10	9	10	8	10	9	10	10	10
83	Palmeira das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	10	10
223	Pântano Grande	1	1	1	1	10	10	9	10	10	10	10	10
104	Passo Fundo	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
114	Passo Fundo	10	10	10	10	9	10	9	10	8	9	8	8
115	Passo Fundo	10	10	10	10	8	9	9	10	8	8	9	9
116	Passo Fundo	10	10	10	10	9	10	10	10	8	8	8	9
143	Paulo Bento	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
217	Pedro Osório	1	1	1	4	2	2	3	4	9	9	9	9
78	Planalto	10	10	10	10	8	9	8	9	10	10	9	10

136	Planalto	10	10	10	10	9	9	-	-	10	10	-	-
186	Planalto	10	10	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
191	Planalto	10	10	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
149	Rio Grande	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10
225	Rio Pardo	10	10	10	10	9	10	9	10	9	8	10	10
141	Ronda Alta	-	-	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
181	Ronda Alta	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
187	Ronda Alta	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10
68	Ronda Alta	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
54	Rosário do Sul	6	6	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10
56	Santa Margarida do Sul	1	1	1	1	7	1	4	2	10	10	10	10
64	Santa Margarida do Sul	1	2	1	3	3	1	2	1	10	10	10	10
66	Santa Margarida do Sul	1	1	-	-	6	5	2	1	10	10	10	10
138	Santa Rosa	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
139	Santa Rosa	10	10	10	10	10	10	8	10	-	-	-	-
196	Santa Rosa	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10	-	-
199	Santa Rosa	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
206	Santa Rosa	10	10	10	10	9	9	7	9	10	10	10	10
40	Santiago	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
30	Santiago	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
17	Santo Ângelo	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
36	Santo Ângelo	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-
53	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
28	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	8	9	9	10	10	10	10	10
55	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
60	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
20	São Borja	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	10	10
21	São Borja	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10

121	São Borja	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
59	São Borja	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
65	São Gabriel	3	4	5	5	8	8	9	10	8	8	8	10
69	São Gabriel	1	1	1	1	3	10	2	2	10	10	10	10
207	São João do Urtiga	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	10	10
145	São José do Inhacorá	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
163	São Jose do Ouro	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
134	São José do Ouro	-	-	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
210	São Lourenço do Sul	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
218	São Lourenço do Sul	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	-	-
219	São Lourenço do Sul	6	4	3	5	7	7	7	8	9	9	10	10
23	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
43	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	9	10	7	9	10	10	10	10
48	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
79	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	-	-
93	São Luiz Gonzaga	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
152	São Martinho	-	-	10	10	-	-	10	10	-	-	10	10
154	São Martinho	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
71	São Miguel das Missões	10	10	10	10	8	9	7	9	-	-	10	10
72	São Miguel das Missões	9	10	10	10	9	9	8	10	10	10	10	10
96	Selbach	10	10	10	10	8	8	9	9	8	10	10	9
110	Sertão	10	10	10	10	9	9	9	9	6	7	8	8
90	Tapera	10	10	10	10	9	10	8	9	8	6	10	10
91	Tapera	10	10	10	10	9	10	9	10	8	9	8	8
109	Tapera	4	6	6	4	3	3	5	4	6	7	7	7
129	Tenente Portela	10	10	-	-	8	10	-	-	10	10	-	-
135	Tenente Portela	10	10	10	10	9	10	8	10	10	10	10	10
131	Três de Maio	10	10	10	10	-	-	9	10	-	-	-	-

142	Três de Maio	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
202	Três de Maio	10	10	10	10	8	9	9	10	9	9	10	10
203	Três de Maio	10	10	10	10	8	10	8	10	10	10	10	10
204	Três de Maio	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10	-	-
183	Três Palmeiras	10	10	10	10	8	9	9	10	10	10	10	10
153	Três Passos	10	10	10	10	9	10	9	10	7	8	10	10
156	Três Passos	10	10	10	10	8	9	8	9	8	8	9	9
188	Trindade do Sul	10	10	-	-	9	9	8	10	10	10	10	10
200	Tupanci do Sul	10	10	10	10	8	10	8	10	9	9	10	10
101	Tupanciretã	10	10	10	10	9	10	9	10	8	8	10	10
46	Unistalda	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10
171	Vacaria	10	10	10	10	-	-	9	10	-	-	10	10
192	Vacaria	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
127	Viadutos	10	10	10	10	3	7	9	10	10	10	10	10
117	Victor Graeff	10	10	10	10	10	8	6	4	10	10	10	10
118	Victor Graeff	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10
87	Vila Lângaro	7	4	-	-	6	10	-	-	-	-	10	10
67	Vila Lângaro	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	10
105	Vila Maria	10	10	10	10	9	10	7	9	10	10	10	10
201	Vila Maria	10	10	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10

Para o herbicida glyphosate na dose de $1,92 \text{ L ha}^{-1}$, avaliou-se 199 biótipos (Tabela 3). Na avaliação aos 14 DAA, 13,1% não apresentaram comprometimento pela aplicação, recebendo nota 1; 3,5% apresentavam sintomas leves, com menor ou igual a 50% de comprometimento, recebendo nota de 2-5; 2,5% apresentavam sintomas intensos, com mais de 50% de comprometimento, recebendo nota de 6-9; e 80,9% dos biótipos já estavam mortos, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 1), 13,1% dos biótipos não apresentavam sintomas visíveis e comprometimento no desenvolvimento, recebendo nota 1, estando presente em dezesseis dos municípios avaliados (Arroio Grande, Arvorezinha, Bagé, Cachoeira do Sul, Camargo, Capão Bonito do Sul, Cruz Alta, Dom Pedrito, Erechim, Itaara, Júlio de Castilhos, Marau, Pântano Grande, Pedro Osório, Santa Margarida do Sul e São Gabriel).

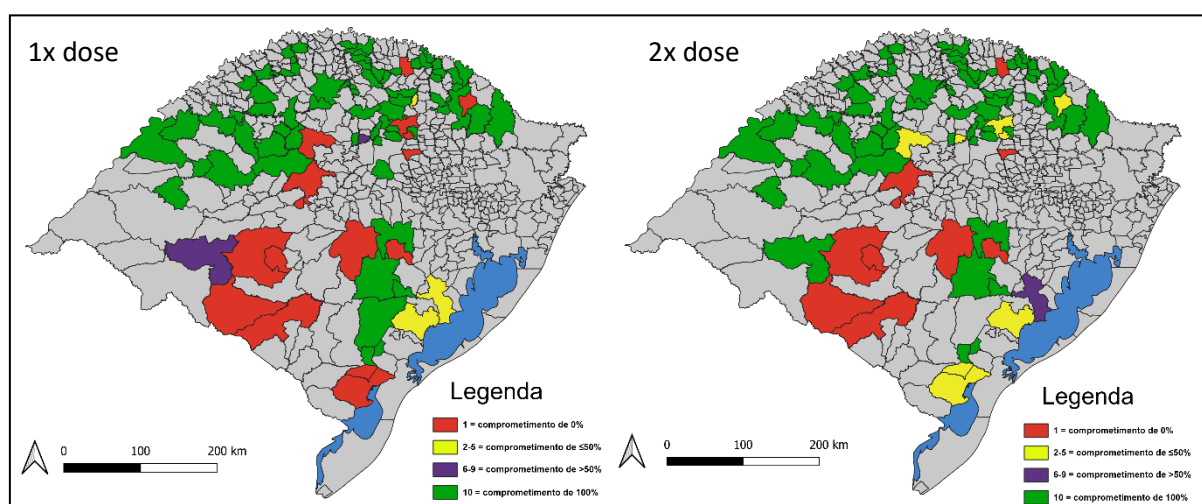


Figura 1. Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de glyphosate na dose máxima ($1,92 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($3,84 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.

Os biótipos que apresentavam sintomas leves com comprometimento de até 50%, recebendo nota de 2-5, equivaleram a 4,5% dos biótipos avaliados, estando presente em nove municípios gaúchos (Arroio Grande, Bagé, Camaquã, Dom Pedrito, Pedro Osório, Santa Margarida do Sul, São Gabriel, São Lourenço do Sul e Vila Lângaro). Os biótipos que apresentaram danos intensos e mais de 50% de comprometimento, recebendo nota de 6-9, representaram 1,5% dos biótipos avaliados, estando presente em três municípios gaúchos (Júlio de Castilhos, Rosário

do Sul e Tapera). Os biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas equivaleram a 80,9%, recebendo nota 10, estando em sessenta e sete dos municípios avaliados.

Para a dose de $3,84 \text{ L ha}^{-1}$ de glyphosate foram avaliados 186 biótipos (Tabela 3). Na avaliação aos 14 DAA, 11,3% não apresentam sintomas de intoxicação, recebendo nota 1; 3,2% apresentavam sintomas leves com comprometimento de até 50%, recebendo nota de 2-5; 3,2% apresentavam sintomas intensos superiores a 50% de comprometimento, recebendo nota de 6-9; e 82,3% dos biótipos já estavam mortos, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 1), 8,6% dos biótipos não apresentavam sintomas e comprometimento do desenvolvimento, recebendo nota 1, estando presente em nove municípios avaliados (Arvorezinha, Bagé, Cachoeira do Sul, Dom Pedrito, Erechim, Itaara, Júlio de Castilhos, Santa Margarida do Sul e São Gabriel).

Os biótipos que apresentavam sintomas e redução até 50% no desenvolvimento, recebendo nota de 2-5, equivaleram a 7,0%, estando presente em treze municípios gaúchos (Arroio Grande, Bagé, Camargo, Capão Bonito do Sul, Cruz Alta, Dom Pedrito, Erechim, Marau, Pedro Osório, Santa Margarida do Sul, São Gabriel, São Lourenço do Sul e Tapera). Os biótipos que apresentaram plantas vivas, com mais de 50% de comprometimento no desenvolvimento, recebendo nota de 6-9, representaram 2,1% dos biótipos avaliados, estando presente em quatro municípios gaúchos (Arroio Grande, Camaquã, Dom Pedrito e Júlio de Castilhos). Os biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas equivaleram 82,3%, receberam nota 10 de controle, estando em sessenta e nove municípios avaliados.

Pode-se confirmar os relatos de escape através dos resultados, tendo biótipos que não foram afetados pela aplicação do glyphosate, mesmo quando se utilizou o dobro da dose recomendada ($3,84 \text{ L ha}^{-1}$). Diferenças de sensibilidade podem ser encontradas entre biótipos na literatura, no entanto essas diferenças, na maioria das vezes não comprometem o controle, ficando acima de 80%. Estudo realizado em 2012, avaliando o controle de *A. hybridus* e *A. lividus*, não apresentou diferenças entre as espécies, com controle acima de 90% (BRAZ et al, 2012). Já em trabalho realizado em 2020, avaliando o controle de *A. hybridus* com a aplicação de glyphosate, não ultrapassou 15% de controle em aplicação em plântulas de 2 folhas (MARTINS et al, 2020).

Para o herbicida chlorimuron, avaliou-se a suscetibilidade de 180 biótipos para a dose de 80 g ha^{-1} (Tabela 3). Aos 14 DAA, 1,6% não apresentaram comprometimento, pela aplicação, recebendo nota 1; 9,3% apresentavam sintomas leves com até 50% comprometimento, recebendo nota de 2-5; 75% apresentavam sintomas intensos com mais de 50% de comprometimento, recebendo nota de 6-9; e 12,8% dos biótipos já estavam mortos, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 2), 6,0% dos biótipos não apresentavam sintomas, recebendo nota 1, estando presente em oito municípios avaliados (Arvorezinha, Bagé, Carazinho, Dom Pedrito, Erechim, Itaara, Marau e Santa Margarida do Sul).

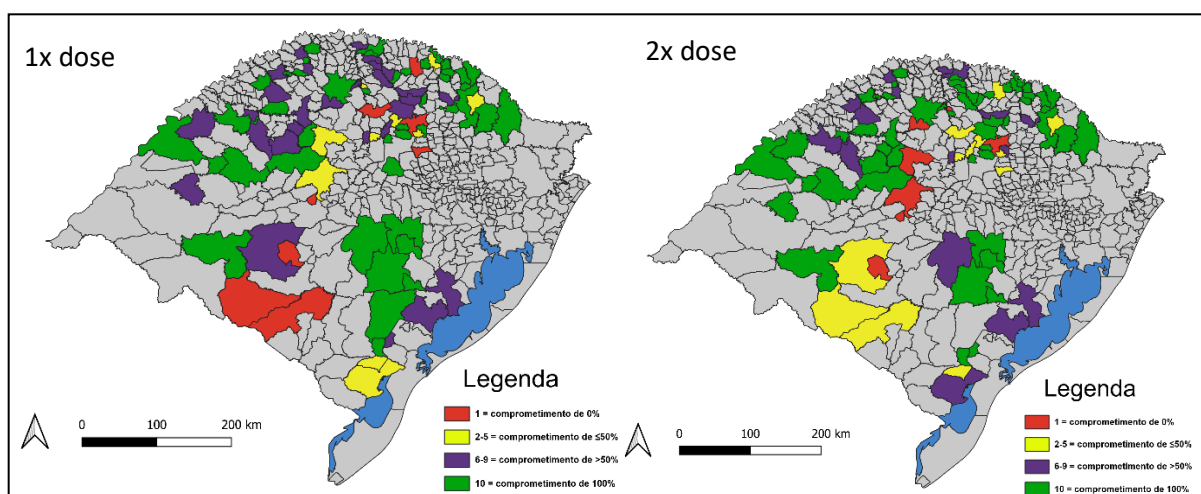


Figura 2. Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de chlorimuron na dose máxima (80 g ha^{-1}) e o dobro da dose recomendada em bula (160 g ha^{-1}), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.

Os biótipos que apresentavam sintomas e até 50% de comprometimento, recebendo notas de 2-5, equivaleram a 9,8% dos biótipos avaliados, estando presente em treze municípios gaúchos (Arroio Grande, Bagé, Barra Funda, Camargo, Capão Bonito do Sul, Carazinho, Cruz Alta, Dom Pedrito, Ernestina, Júlio de Castilhos, Pedro Osório, Santa Margarida do Sul e Tapera). Os biótipos que apresentaram plantas vivas, com mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 6-9, representaram 25,1% dos biótipos avaliados, estando presente em trinta e três municípios gaúchos (Arroio Grande, Augusto Pestana, Caibaté, Camaquã, Camargo, Campinas do Sul, Campo Novo, Condor, Dom Pedrito, Ernestina, Giruá, Ibiaçá, Ijuí, Jóia, Manoel Viana, Morro Redondo, Novo Barreiro, Passo Fundo, Planalto, Ronda Alta, Santa Rosa, Santo Antônio das Missões, São Gabriel, São Lourenço do Sul, São

Miguel das Missões, Selbach, Sertão, Três de Maio, Três Palmeiras, Três Passos, Trindade do Sul, Viadutos e Victor Graeff). Os biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas equivaleram 59,0%, receberam nota 10, estando em cinquenta e quatro dos municípios avaliados.

A morte da planta em aplicações de inibidores da ALS pode levar semanas, já o crescimento é cessado em uma a duas horas após o tratamento. As plantas podem apresentar amarelecimento foliar, enrugamento, crescimento lateral, morte do meristema apical e estruturas reduzidas, principalmente nas raízes (RAMON et al., 2005). As sintomatologias podem explicar o retardamento da morte das plantas com a utilização do herbicida chlorimuron, onde pode-se observar um aumento de 46,2% dos biótipos mortos da primeira avaliação (14 DAA) para a segunda (28 DAA).

Para a dose de 160 g ha⁻¹ do herbicida chlorimuron, avaliou-se a suscetibilidade de 179 biótipos (Tabela 3). Aos 14 DAA, 1,7% não apresentaram sintomas de intoxicação, recebendo nota 1; 11,2% apresentavam sintomas leves com comprometimento inferior a 50%, recebendo notas de 2-5; 78,8% apresentavam sintomas intensos com mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 6-9; e 8,4% dos biótipos já estavam mortos, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 2), 5,0% dos biótipos não apresentavam sintomas e comprometimento do desenvolvimento, recebendo nota 1, estando presente em sete municípios avaliados (Barra Funda, Condor, Cruz Alta, Itaara, Júlio de Castilhos, Marau e Santa Margarida do Sul).

Os biótipos que apresentavam sintomas e redução de até 50% no desenvolvimento, recebendo notas de 2-5, equivaleram a 9,5% dos biótipos avaliados, estando presente em quatorze municípios gaúchos (Arvorezinha, Bagé, Camargo, Capão Bonito do Sul, Carazinho, Cruz Alta, Dom Pedrito, Erechim, Ernestina, Pedro Osório, Santa Margarida do Sul, São Gabriel, Tapera e Victor Graeff). Os biótipos que apresentavam plantas com mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 6-9, representaram 15,1% dos biótipos avaliados, estando presente em dezessete municípios gaúchos (Arroio Grande, Bagé, Cachoeira do Sul, Camaquã, Camargo, Campo Novo, Dom Pedrito, Ernestina, Giruá, Ibiaçá, Nonoai, Planalto, Santa Rosa, São Lourenço do Sul, São Luiz Gonzaga, São Miguel das Missões, Selbach, Sertão, Tapera, Três Passos e Vila Maria). Os biótipos que foram levados à morte com a

aplicação dos herbicidas equivaleram 70,4%, receberam nota 10 de controle, estando em cinquenta e sete dos municípios avaliados.

A baixa eficiência do controle de caruru nos experimentos com glyphosate e chlorimuron pode ser indício de seleção de biótipos tolerantes aos mecanismos de ação destes herbicidas, evento que vem tornando-se mais frequente a cada ano (PENCKOWSKI et al., 2020; HEAP, 2021). Até mesmo no Brasil, tem-se registro de biótipos do gênero *Amaranthus* resistentes à esses mecanismos de ação (CARVALHO et al., 2015; GONÇALVES NETTO et al., 2016), como também de países que fazem fronteira com o Brasil, por exemplo a Argentina, que também faz divisa com o Rio Grande do Sul e já foram confirmados casos de resistência destas espécies a estes herbicidas (CAPOREALE et al., 2018; PEROTTI et al., 2018).

Para o herbicida fomesafen, avaliou-se a suscetibilidade de 170 biótipos na dose de 1,0 L ha⁻¹ (Tabela 3). Aos 14 DAA não se observou controle inferior a 60%. Dos biótipos avaliados, 14,0% apresentavam sintomas intensos com mais de 60% de comprometimento, recebendo notas de 6-9; e 96,0% morreram, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 3), a menor nota de controle foi 6, apresentando danos intensos. Os biótipos que apresentaram mais de 60% de comprometimento no desenvolvimento, recebendo notas de 6-9, representaram 22,9% dos biótipos avaliados, estando presentes em vinte e oito municípios gaúchos (Amaral Ferrador, Arroio Grande, Barracão, Camaquã, Campo Novo, Capão Bonito do Sul, Cerrito, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Ernestina, Giruá, Manoel Viana, Marau, Morro Redondo, Nonoai, Novo Barreiro, Paim Filho, Passo Fundo, Pedro Osório, Rio Pardo, São Gabriel, São Lourenço do Sul, Sertão, Tapera, Três de Maio, Três Passos, Tupanci do Sul e Tupanciretã). Os biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas, receberam nota 1, e equivaleram 70,6% dos avaliados.

O herbicida fomesafen pode ser uma ferramenta importante para controle de caruru, caso haja a confirmação de resistência múltipla aos herbicidas inibidores da EPSPs e ALS, por ser a única alternativa que pode ser aplicada na pós-emergência da soja, sem as novas tecnologias de transgenia. Contudo, os resultados mostraram uma redução de controle em alguns poucos biótipos, o que acende um alerta, sabendo que há o registro de biótipos de *Amaranthus* resistentes à esses mecanismos de ação, no Brasil e na Argentina (HEAP, 2021).

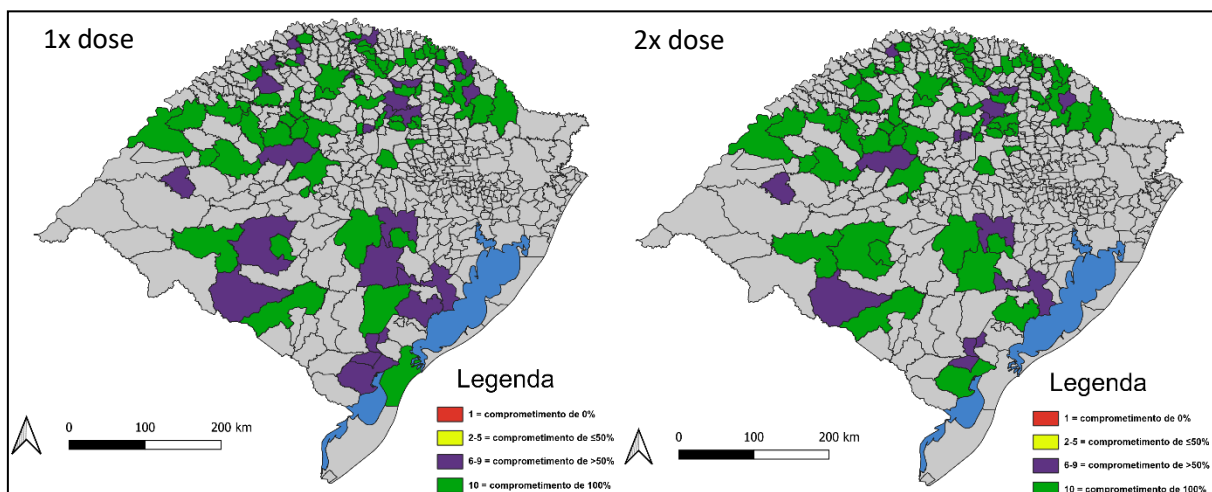


Figura 3. Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de fomesafen na dose máxima ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.

Para a dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida fomesafen, avaliou-se a suscetibilidade de 185 biótipos (Tabela 3). Aos 14 DAA não se observou controle inferior a 60%. Nos biótipos avaliados, 11,9% apresentavam sintomas intensos com mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 6-9; e 89,1% apresentaram plantas mortas, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 3), a menor nota de controle foi 8, apresentando danos intensos. Os biótipos que apresentaram mais de 80% de comprometimento no desenvolvimento e danos intensos representaram 9,2% dos biótipos avaliados, recebendo notas de 8-9, estando presente em dezesseis municípios gaúchos (Amaral Ferrador, Camaquã, Capão Bonito do Sul, Cerrito, Dom Pedrito, Ernestina, Manoel Viana, Morro Redondo, Passo Fundo, Pedro Osório, Rio Pardo, Selbach, Sertão, Tapera, Três Passos e Tupanciretã). Os biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas, receberam nota 10 de controle, equivaleram 90,8% dos avaliados.

Os herbicidas inibidores da PPO apresentam rápida absorção, levando à visualização dos primeiros sintomas horas após a aplicação, quando em presença de luz. A mesma característica que facilita a entrada da molécula na planta, causa baixa translocação dentro da planta, considerando-o herbicida de contato. Dessa forma, para se alcançar uma melhor eficiência no controle com uso desses herbicidas deve-

se prezar por boa cobertura da planta daninha, fator este que pode ter impedido melhores resultados nos experimentos com o herbicida fomesafen.

As médias das notas das avaliações nos tratamentos de glufosinate (2,5 e 5,0 L ha⁻¹) e 2,4-D (1,0 e 2,0 L ha⁻¹) estão demonstrados na tabela 4.

Tabela 4. Controle (notas de 1 - 10) de Caruru aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida glufosinate, 2,4-D e dicamba sobre amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul.

Nº Biót.	Municípios	Glufosinate				2,4-D			
		2,5 L ha ⁻¹		5,0 L ha ⁻¹		1,0 L ha ⁻¹		2,0 L ha ⁻¹	
		14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA
216	Arroio Grande	10	10	10	10	10	10	10	10
148	Arvorezinha	10	10	-	-	9	10	10	10
16	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	10	10	10
38	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	10	10	10
50	Augusto Pestana	-	-	10	10	8	10	10	10
80	Augusto Pestana	10	10	10	10	9	10	10	10
19	Bagé	10	10	10	10	9	10	10	10
22	Bagé	10	10	10	10	9	10	9	10
99	Bagé	10	10	10	10	9	10	10	10
100	Bagé	-	-	10	10	-	-	10	10
122	Barra Funda	10	10	10	10	9	10	10	10
124	Barra Funda	10	10	10	10	4	10	10	10
126	Barra Funda	10	10	10	10	9	10	9	10
151	Barracão	10	10	-	-	9	10	10	10
177	Barros Cassal	10	10	10	10	10	10	9	10
37	Boa Vista do Cadeado	10	10	10	10	9	10	10	10
41	Boa Vista do Cadeado	10	10	10	10	10	10	9	10
165	Bom Progresso	-	-	10	10	-	-	10	10
180	Bom Progresso	10	10	10	10	9	10	10	10
224	Cachoeira do Sul	10	10	10	10	9	10	10	10
18	Caibaté	10	10	10	10	9	10	10	10
29	Caibaté	10	10	10	10	9	10	10	10
221	Camaquã	10	10	10	10	8	9	10	10
185	Camargo	10	10	10	10	9	10	10	10
190	Camargo	-	-	10	10	-	-	9	10
198	Campinas do Sul	9	10	9	10	9	10	10	10
128	Campo Novo	-	-	9	10	-	-	10	10
212	Canguçu	10	10	-	-	9	10	10	10
182	Capão Bonito do Sul	10	10	10	10	10	10	10	10
84	Carazinho	10	10	10	10	9	10	10	10

95	Carazinho	10	10	10	10	9	10	9	10
173	Caseiros	10	10	-	-	9	10	-	-
209	Cerrito	-	-	10	10	-	-	-	-
214	Cerrito	10	10	10	10	8	8	10	10
220	Cerrito	10	10	10	10	9	10	9	10
42	Condor	-	-	10	10	-	-	10	10
70	Coxilha	9	10	10	10	9	10	9	10
26	Cruz Alta	10	10	10	10	9	10	10	10
52	Cruz Alta	10	10	10	10	9	10	10	10
106	Cruz Alta	10	10	10	10	9	10	10	10
1	Dom Pedrito	-	-	-	-	-	-	10	10
2	Dom Pedrito	-	-	10	10	-	-	10	10
3	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
4	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	9	10
5	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
6	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	10	10
7	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	10	10
8	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
9	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
10	Dom Pedrito	10	10	10	10	7	8	10	10
11	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	10	10
12	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
13	Dom Pedrito	10	10	10	10	10	10	10	10
15	Dom Pedrito	10	10	10	10	8	10	8	10
27	Dom Pedrito	10	10	10	10	9	10	10	10
63	Dom Pedrito	-	-	9	10	9	10	10	10
108	Erechim	9	10	10	10	9	10	10	10
132	Erechim	10	10	10	10	9	10	9	10
167	Erechim	10	10	10	10	8	10	9	10
92	Ernestina	10	10	10	10	8	8	10	10
119	Ernestina	10	10	10	10	10	10	10	10
169	Gaurama	-	-	-	-	9	10	10	10
47	Giruá	10	10	10	10	9	10	9	10
57	Giruá	10	10	10	10	9	10	10	10
61	Giruá	10	10	10	10	8	10	9	10
62	Giruá	10	10	10	10	8	10	10	10
73	Giruá	-	-	10	10	-	-	10	10
25	Gramado dos Loureiros	10	10	10	10	9	10	9	10
75	Gramado dos Loureiros	-	-	10	10	-	-	10	10
146	Gramado dos Loureiros	-	-	10	10	-	-	9	10
112	Ibiaçá	9	10	10	10	9	10	10	10
197	Ibiaçá	9	10	10	10	9	10	10	10
161	Ibirapuitã	-	-	10	10	-	-	10	10

45	Ijuí	10	10	10	10	10	10	10	10
81	Ijuí	-	-	10	10	-	-	10	10
98	Itaara	10	10	10	10	9	10	10	10
164	Jacutinga	-	-	-	-	-	-	10	10
24	Jóia	10	10	10	10	9	10	10	10
31	Jóia	10	10	10	10	9	10	10	10
35	Jóia	10	10	10	10	8	10	10	10
39	Jóia	-	-	-	-	9	10	-	-
44	Jóia	10	10	10	10	9	10	10	10
58	Jóia	10	10	10	10	9	10	10	10
74	Jóia	10	10	10	10	10	10	10	10
89	Jóia	-	-	-	-	-	-	10	10
103	Júlio de Castilhos	10	10	10	10	9	10	9	10
107	Júlio de Castilhos	10	10	10	10	9	10	10	10
162	Lagoa Vermelha	10	10	-	-	9	10	10	10
102	Manoel Viana	10	10	10	10	10	10	10	10
140	Marau	10	10	10	10	9	10	10	10
144	Marcelino Ramos	10	10	-	-	8	10	-	-
172	Marcelino Ramos	10	10	10	10	9	10	10	10
137	Maximiliano de Almeida	-	-	10	10	-	-	10	10
166	Maximiliano de Almeida	-	-	10	10	-	-	9	10
227	Morro Redondo	10	10	10	10	9	10	9	10
170	Muitos Capões	10	10	10	10	9	10	-	-
179	Nicolau Vergueiro	10	10	10	10	10	10	10	10
34	Nonoai	-	-	10	10	-	-	10	10
76	Nonoai	-	-	10	10	-	-	10	10
77	Nonoai	10	10	10	10	9	10	10	10
125	Nova Boa Vista	10	10	10	10	10	10	10	10
85	Novo Barreiro	10	10	10	10	8	8	10	10
184	Paim Filho	10	10	10	10	8	10	10	10
189	Paim Filho	-	-	10	10	-	-	10	10
205	Paim Filho	10	10	10	10	9	10	10	10
49	Palmeira das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10
82	Palmeira das Missões	10	10	10	10	9	10	10	10
83	Palmeira das Missões	10	10	10	10	9	10	10	10
223	Pântano Grande	10	10	10	10	9	10	10	10
114	Passo Fundo	10	10	10	10	10	10	10	10
115	Passo Fundo	10	10	10	10	8	8	10	10
116	Passo Fundo	10	10	10	10	9	10	10	10
143	Paulo Bento	10	10	10	10	9	10	10	10
217	Pedro Osório	10	10	10	10	10	10	10	10
78	Planalto	10	10	9	10	9	10	10	10
136	Planalto	10	10	-	-	9	10	10	10

186	Planalto	-	-	-	-	-	-	10	10
191	Planalto	-	-	-	-	-	-	10	10
225	Rio Pardo	10	10	10	10	10	10	10	10
141	Ronda Alta	-	-	-	-	-	-	9	10
181	Ronda Alta	10	10	10	10	10	10	10	10
187	Ronda Alta	10	10	10	10	9	10	8	10
68	Ronda Alta	10	10	10	10	9	10	10	10
54	Rosário do Sul	-	-	-	-	10	10	9	10
56	Santa Margarida do Sul	10	10	10	10	9	10	9	10
64	Santa Margarida do Sul	10	10	10	10	9	10	9	10
66	Santa Margarida do Sul	-	-	-	-	-	-	9	10
138	Santa Rosa	10	10	10	10	7	10	9	10
139	Santa Rosa	-	-	10	10	-	-	10	10
196	Santa Rosa	10	10	-	-	9	9	-	-
199	Santa Rosa	10	10	10	10	9	10	10	10
206	Santa Rosa	10	10	10	10	9	10	10	10
40	Santiago	10	10	10	10	10	10	9	10
30	Santiago	10	10	10	10	9	10	10	10
17	Santo Ângelo	10	10	10	10	9	10	10	10
53	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10
28	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	9	10
55	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	10	10
60	Santo Antônio das Missões	10	10	10	10	9	10	10	10
20	São Borja	10	10	10	10	9	10	10	10
21	São Borja	10	10	10	10	9	10	10	10
121	São Borja	10	10	10	10	9	10	10	10
59	São Borja	-	-	10	10	9	10	8	10
65	São Gabriel	10	10	10	10	7	8	10	10
69	São Gabriel	10	10	10	10	9	10	9	10
207	São João do urtiga	10	10	10	10	9	10	10	10
145	São José do Inhacorá	-	-	10	10	10	10	10	10
163	São Jose do Ouro	10	10	10	10	9	10	10	10
134	São José do Ouro	-	-	10	10	-	-	10	10
218	São Lourenço do Sul	10	10	-	-	9	10	-	-
219	São Lourenço do Sul	10	10	10	10	10	10	10	10
23	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	9	10	10	10
43	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	9	10	9	10
48	São Luiz Gonzaga	10	10	10	10	9	10	10	10
79	São Luiz Gonzaga	10	10	-	-	9	10	-	-
152	São Martinho	-	-	-	-	-	-	10	10
154	São Martinho	-	-	10	10	-	-	10	10

71	São Miguel das Missões	-	-	10	10	-	-	10	10
72	São Miguel das Missões	10	10	10	10	8	9	10	10
96	Selbach	10	10	10	10	10	10	10	10
110	Sertão	10	10	10	10	9	10	10	10
90	Tapera	10	10	10	10	9	9	10	10
91	Tapera	10	10	10	10	9	9	10	10
109	Tapera	10	10	10	10	10	10	10	10
135	Tenente Portela	10	10	10	10	8	10	10	10
142	Três de Maio	-	-	10	10	-	-	9	10
202	Três de Maio	10	10	10	10	9	10	10	10
203	Três de Maio	9	10	10	10	9	10	10	10
204	Três de Maio	10	10	-	-	10	10	-	-
183	Três Palmeiras	-	-	10	10	-	-	10	10
153	Três Passos	10	10	-	-	7	7	10	10
156	Três Passos	10	10	10	10	8	9	10	10
188	Trindade do Sul	10	10	10	10	9	10	10	10
200	Tupanci do Sul	10	10	10	10	9	10	10	10
101	Tupanciretã	10	10	10	10	9	9	10	10
46	Unistalda	-	-	-	-	9	10	10	10
171	Vacaria	-	-	10	10	-	-	10	10
127	Viadutos	10	10	10	10	9	10	10	10
117	Victor Graeff	10	10	10	10	9	10	10	10
118	Victor Graeff	10	10	10	10	8	10	9	10
87	Vila Lângaro	-	-	10	10	-	-	-	-
67	Vila Lângaro	10	10	10	10	9	10	9	10
105	Vila Maria	10	10	10	10	10	10	9	10
201	Vila Maria	9	10	10	10	9	10	10	10

Para o herbicida glufosinate, avaliou-se a suscetibilidade de 145 biótipos para a dose de 2,5 L ha⁻¹ (Tabela 4). Aos 14 DAA não se observou nota de controle inferior a 9. Nos biótipos avaliados, 4,8% apresentavam sintomas intensos, mas que não estavam mortos e receberam nota 9; e 95,2% morreram, recebendo notas 10 de controle. Aos 28 DAA (Figura 4), observou-se 100% de morte dos biótipos, recebendo nota 10 de controle.

Estudos avaliando duas espécies de caruru demonstraram alta eficiência de controle utilizando o glufosinate, mesmo utilizando doses inferiores as recomendadas em bula (BRAZ et al., 2012), resultado que corrobora aos encontrados neste experimento, alcançando 100% de controle dos biótipos de caruru tratados com o herbicida.

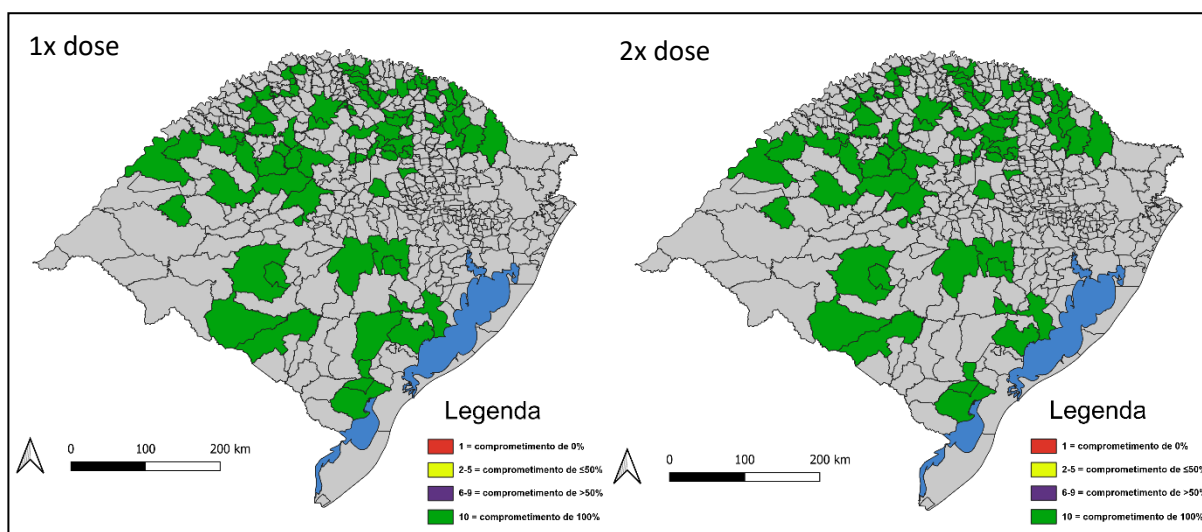


Figura 4. Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de glufosinate na dose máxima ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($5,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.

Com a introdução da nova tecnologia Enlist®, a utilização do glufosinate torna-se mais uma importante ferramenta no controle de plantas daninhas resistentes aos inibidores da EPSPs e ALS, principalmente na cultura da soja.

Para a dose de $5,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida glufosinate, avaliou-se a suscetibilidade de 162 biótipos (Tabela 4). Aos 14 DAA não se observou nota de controle inferior a 9. Nos biótipos avaliados, 2,5% apresentavam sintomas intensos, mas que não estavam mortos, recebendo nota 9; e 97,5% morreram, recebendo nota 10 de controle. Aos 28 DAA (Figura 4), 100% dos biótipos encontravam-se mortos e receberam nota 10 de controle.

Para o herbicida 2,4-D, avaliou-se a suscetibilidade de 153 biótipos para a dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ (Tabela 4). Aos 14 DAA, 0,6% apresentaram sintomas abaixo de 50% (Barra Funda, recebeu nota 4 de controle); 79,1% apresentaram sintomas intensos com mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 6-9; e 18,9% dos biótipos apresentaram plantas mortas, recebendo nota 10 de controle.

Aos 28 DAA (Figura 5), a menor nota de controle foi 7 (Passo Fundo). Os biótipos que apresentaram mais de 50% de comprometimento, recebendo notas de 7-9, representaram 9,1%, estando presente em dezesseis municípios gaúchos (Camaquã, Cerrito, Dom Pedrito, Ernestina, Novo Barreiro, Passo Fundo, Santa Rosa, São Gabriel, São Miguel das Missões, Tapera, Três Passos e Tupanciretã). Os

biótipos que foram levados à morte com a aplicação dos herbicidas, receberam nota 10 de controle, equivaleram 90,9% dos avaliados.

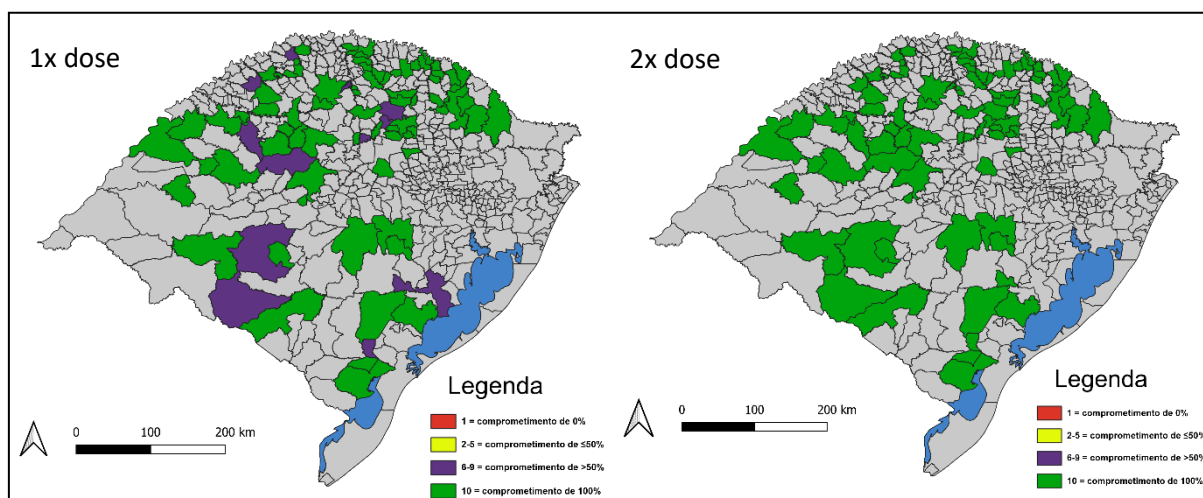


Figura 5. Mapa da suscetibilidade de biótipos de caruru a aplicação de 2,4-D na dose máxima ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) e o dobro da dose recomendada em bula ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$), na avaliação realizada aos 28 DAA. Capão do Leão-RS-2020.

A utilização do 2,4-D mostrou-se eficiente em grande maioria dos biótipos. É um herbicida que devemos ficar atentos, sabendo que se tem registro de biótipos de caruru resistentes à esse mecanismo de ação na Argentina, país que faz fronteira agrícola com o Rio Grande do Sul. Contudo, este herbicida apresenta grande potencial de utilização com a entrada das tecnologias INTACTA 2 XTEND®.

Para a dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida 2,4-D, avaliou-se a suscetibilidade de 153 biótipos (Tabela 4). Aos 14 DAA, 21,6% dos biótipos apresentaram plantas com comprometimento acima de 50%, recebendo notas de 6-9; 18,9% dos biótipos apresentaram plantas mortas, recebendo nota 10 de controle. Aos 28 DAA (Figura 5), 100% dos biótipos testados foram mortos, receberam nota 10 de controle.

Pode-se observar desde a avaliação aos 14 DAA que as maiores doses apresentavam correlação com os biótipos com as maiores notas, independente do herbicida. Deste modo, fica evidenciado que o aumento das doses proporciona melhor controle das plantas de caruru, logo essas variações podem estar relacionadas a mais de um mecanismo de suscetibilidade desses biótipos (CARVALHO et al., 2011).

Os resultados obtidos a partir desse levantamento enaltecem a hipótese de haver escapes de carurus em lavoura de soja, devido à deficiência de controle quando utiliza-se os herbicidas glyphosate e chlorimuron (Figura 6). A insensibilidade pode

ser observada em 16 (glyphosate) e 9 (chlorimuron) biótipos, mesmo quando utilizado as maiores doses. Para a confirmação de casos de resistência aos biótipos que não foram controlados, indica-se realizar experimentos de curva dose-resposta.

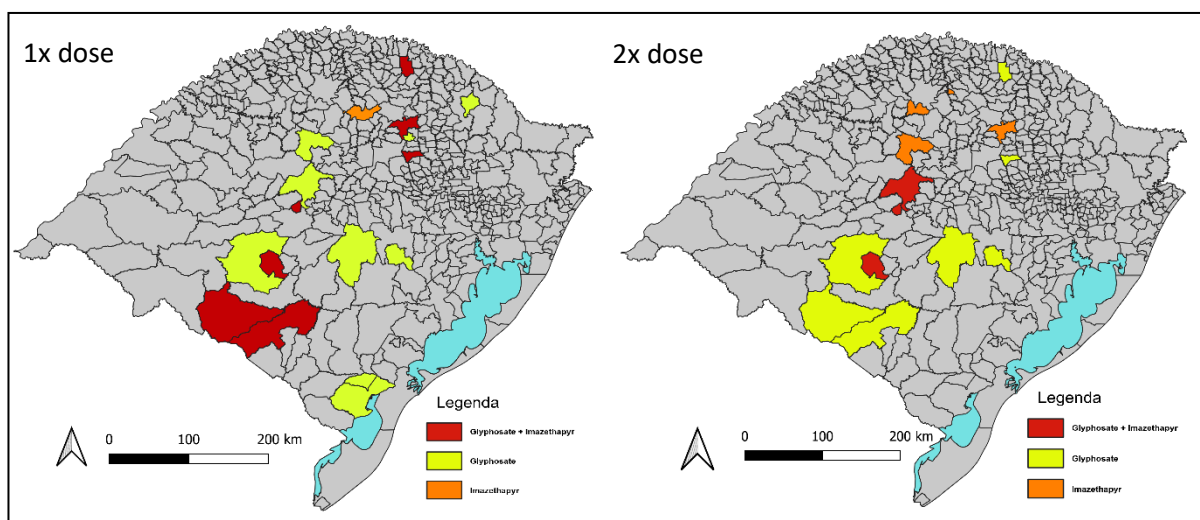


Figura 6. Mapas de falhas de controle aos herbicidas glyphosate (1,92 e 3,84 L ha⁻¹) e chlorimuron (80 e 160 g ha⁻¹).

Outro ponto que deve ser salientado é a possível ocorrência de resistência múltipla em sete municípios gaúchos quando utilizada a dose recomendada em bula para os herbicidas glyphosate (1,92 L ha⁻¹) e chlorimuron (80 g ha⁻¹), sendo eles: Bagé (biótipo 22), Dom Pedrito (biótipos 4, 15 e 63), Marau (biótipo 140), Itaara (biótipo 98), Santa Margarida do Sul (biótipo 56), Arvorezinha (biótipo 148) e Erechim (biótipo 167).

Os biótipos com notas de controle inferior a 10 levantam um alerta para uma possível segregação dentro da mesma geração, derivada de diferenças no número de genes que estão envolvidos na insensibilidade aos herbicidas. Este nível de insensibilidade pode também ser alterado pela dose do herbicida, variações ambientais e taxa metabólica (YU; POWLES, 2014).

Para os herbicidas glufosinate e 2,4-D, não se observou redução na suscetibilidade de biótipos com suspeita de resistência dentre os avaliados, apresentando controle satisfatório em todos os casos.

2.4 Conclusão

Para os herbicidas glyphosate, chlorimuron e fomesafen observou biótipos que sobreviveram em alguns casos, até mesmo quando se utilizou o dobro da dose

recomendada, sugerindo a existência de biótipos resistentes, sendo necessário estudos de curva de dose-resposta para essa confirmação.

Há indícios de ocorrência de biótipos que sobreviveram a dois mecanismos de ação, sugerindo a existência de resistência múltipla.

Os herbicidas glufosinate e 2,4-D são eficientes no controle de espécies do gênero *Amaranthus* no Estado do Rio Grande do Sul, sendo alternativa na prevenção da resistência ao glyphosate.

3 CAPÍTULO II – Curva dose-resposta em biótipos de carurus com indício de resistência aos herbicidas inibidores da EPSPs e ALS

3.1 Introdução

As plantas daninhas são todas ou qualquer planta presente em determinado ambiente onde ela não é desejada e acaba causando algum prejuízo ao local onde está. Na agricultura, as plantas daninhas acompanham toda a linha histórica da evolução, desde que ainda as plantas “úteis” não eram domesticadas e utilizava-se a remoção das plantas que interferiam no extrativismo (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Com a evolução da produção de alimentos, o homem aperfeiçoou as espécies “úteis” para elevar a sua maior capacidade de produção e, muitas vezes, retirando dessas espécies a capacidade de viver em ambientes adversos e em convívio com plantas mais rústicas. Enquanto isso, as espécies silvestres foram sendo selecionadas em resposta às alterações do ambiente.

As técnicas de cultivo e as modalidades de controle de plantas daninhas vêm alterando a flora há centenas de anos. Os herbicidas, atualmente, são a principal ferramenta utilizada para impedir a infestação nas lavouras agrícolas, isso em decorrência da sua facilidade de uso. Porém, o uso continuado dessa ferramenta tem proporcionado rápida evolução na seleção de espécies resistentes, agravando o problema de controle das plantas daninhas.

Nos últimos anos, técnicos e produtores vem relatando escape de biótipos de caruru nas lavouras de soja do Rio Grande do Sul, onde utilizou-se herbicidas inibidores da EPSPs e ALS, sugerindo a evolução de biótipos resistentes à esses produtos. Para uma planta daninha ser considerada resistente a determinado herbicida, ela deve ser capaz de sobreviver à aplicação do mesmo, em dose recomendada em bula, e completar o seu ciclo. Essa característica deve ser herdável,

selecionada pelo biótipo previamente suscetível e transmitida para as próximas gerações. (HEAP; LEBARON, 2001).

Diversos ensaios podem ser utilizados para avaliar a resistência de plantas daninhas, desde avaliações moleculares até experimentos a campo. Entretanto, o mais utilizado é o experimento de curva dose-resposta, devido à sua praticidade e baixo custo.

O experimento de curva dose-resposta consiste em avaliar a diferença de sensibilidade entre biótipo supostamente resistente e o biótipo suscetível, utilizando doses equidistantes de determinado herbicida, onde devem ser alcançadas doses letais e subletais em ambos os biótipos para a determinação dos valores de C50 (dose necessária para obter controle de 50%) e GR50 (dose necessária para reduzir a massa seca da parte aérea em 50%).

Com o valor de C50 e GR50 calcula-se o Fator de Resistência (FR), ou como também pode ser denominado, Nível de Resistência (NR). Esse fator corresponde a razão entre C50 ou GR50 do biótipo supostamente resistente e o C50 ou GR50 do biótipo suscetível ($F = R \text{ C50 ou GR50} / S \text{ C50 ou GR50}$). O resultado expressa quantas vezes a mais o biótipo supostamente resistente precisa receber de herbicida para alcançar 50% do seu controle e/ou redução da massa seca (MS), quando comparado ao biótipo suscetível (HALL et al., 1998, GAZZIERO et al., 2008). O biótipo terá a resistência confirmada quando o FR tiver valor numérico superior a 10 (GAZZIERO et al., 2008).

Esse estudo teve como hipótese que os biótipos provenientes de lavouras de soja do município de Dom Pedrito-RS são resistência aos herbicidas inibidores da EPSPs e ALS. O objetivo do estudo foi avaliar a suscetibilidade de biótipos de *Amaranthus retroflexus*, a fim de avaliar a resposta quando utilizado os herbicidas glyphosate e imazethapyr.

3.2 Material e Métodos

Realizou-se dois experimentos de curva dose-resposta, um referente ao herbicida glyphosate e o outro ao herbicida imazethapyr, entre os meses de novembro a dezembro de 2020, em casa-de-vegetação pertencente ao Centro de Herbologia (CEHERB/FAEM/UFPEL), no município de Capão do Leão-RS.

As sementes foram provenientes de coletas realizadas nos anos de 2019 e 2020. Os biótipos resistentes (BR6 e BR3) foram coletados nas coordenadas 31°04'53"S e 54°20'40"W, em 2019, enquanto o biótipo suscetível (BS3) foi coletado nas coordenadas 31°06'88.44"S e 54°36'16.13"W, em 2020, ambos no município de Dom Pedrito-RS. Foram realizadas aplicações prévias para confirmar a falha no controle do biótipo resistente e realizados os experimentos de curva dose-resposta com as sementes coletadas das plantas sobreviventes, para assegurar que a resistência é herdada de uma geração para a outra.

O primeiro passo foi a identificação da espécie, realizada no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), confirmando a ocorrência de *Amaranthus retroflexus*. O material foi disposto em exsicata no Herbário Santa Maria Departamento de Biologia (SMDDB), com número de acesso 18079.

Para implantação do experimento realizou-se a superação de dormência nas sementes através de escarificação com lixa grossa e embebição em solução de ácido giberélico (3 mmol) por três dias, em BOD com fotoperíodo de 16h dia e 8h noite, e temperatura de 35°C dia e 30°C noite. As mesmas foram transferidas para bandejas de isopor com substrato para produção das mudas. Quando estabelecidas, transplantou-as em copos de 750 mL, contendo apenas solo.

Quando as plantas de caruru se encontravam com 4 a 6 folhas, realizou-se a aplicação dos herbicidas. Para o experimento de glyphosate utilizou-se as doses de 0; 360; 720; 1440; 2880; 5760; 11520; e 23040 g e.a. ha⁻¹, sendo considerada como dose de registro 1440 g e.a. ha⁻¹. Para o experimento de imazethapyr utilizou-se as doses de 0; 26,5; 53; 106; 212; 424; 848; e 1696 g i.a. ha⁻¹, sendo considerada como dose de registro 106 g i.a. ha⁻¹. A aplicação foi realizada com auxílio de pulverizador costal, pressurizado de CO₂, com volume de calda de 150 L ha⁻¹.

As avaliações de controle foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), sendo atribuído notas de 0 a 100%, onde 0 correspondente a ausência de injúrias e 100% correspondente à morte da planta (SBCPD, 1995). Aos 28 DAA, realizou-se a coleta da parte aérea das plantas, que foram levadas para estufa de circulação de ar, com temperatura de 60°C até a estabilização da massa, para determinar a MS. Os dados foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e, posteriormente, submetidos à análise de variância individual para cada herbicida ($p \leq 0,05$). No caso de ser constatada significância, realizou-se a análise

de regressão para doses e biótipos, utilizando o programa SigmaPlot, e ajustou-se os dados a equação de regressão sigmoide do tipo logístico:

$$y = \frac{a}{1 + (x/x_0)^b}$$

onde “y” é a porcentagem de controle ou a redução da MS da parte aérea; “x” é a dose do herbicida; e “a”, “x₀” e “b” são parâmetros da equação, onde “a” é a diferença entre os pontos máximo e mínimo da curva, “x₀” é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e “b” é a declividade da curva. Com os valores estimados pela curva dose-resposta, pode-se determinar o C50 e GR50 e calcular o FR.

3.3 Resultados e Discussão

A análise de variância apresentou interação entre os fatores biótipos e doses para as variáveis analisadas em ambos os herbicidas (Figura 7 e 8). Para o herbicida glyphosate, todos os biótipos se ajustaram à equação logística de três parâmetros. Já no experimento com imazethapyr apenas o biótipo suscetível (BS3) ajustou-se em todas as variáveis avaliadas. Já os biótipos resistentes (BR6 e BR3) não alcançaram percentual de controle suficiente para determinar o C50 aos 21 DAA para ambos os biótipos e aos 28 DAA para o biótipo BR6, assim não se ajustando à equação.

- Curva Dose-Resposta para o Herbicida Glyphosate

O biótipo suscetível (BS3) apresentou percentual de controle superior a 80% desde a primeira avaliação de controle em todas as doses com herbicida (Figura 7). Os biótipos resistentes (BR6 e BR3) tiveram aumento no controle com o aumento da dose, alcançando percentual de controle próximo aos 80% nas maiores doses.

A redução de controle dos biótipos BR6 e BR3 foi observada desde a primeira avaliação, com a utilização da dose recomendada em bula (1440 g e.a. ha⁻¹), onde ambos os biótipos resistentes apresentaram redução em mais de 50% no controle, quando comparado com o biótipo suscetível. Na última avaliação, observou-se maior diferença de controle, onde a redução comparada ao biótipo suscetível foi de 63,3% para o biótipo BR6 e 80,3% para o biótipo BR3.

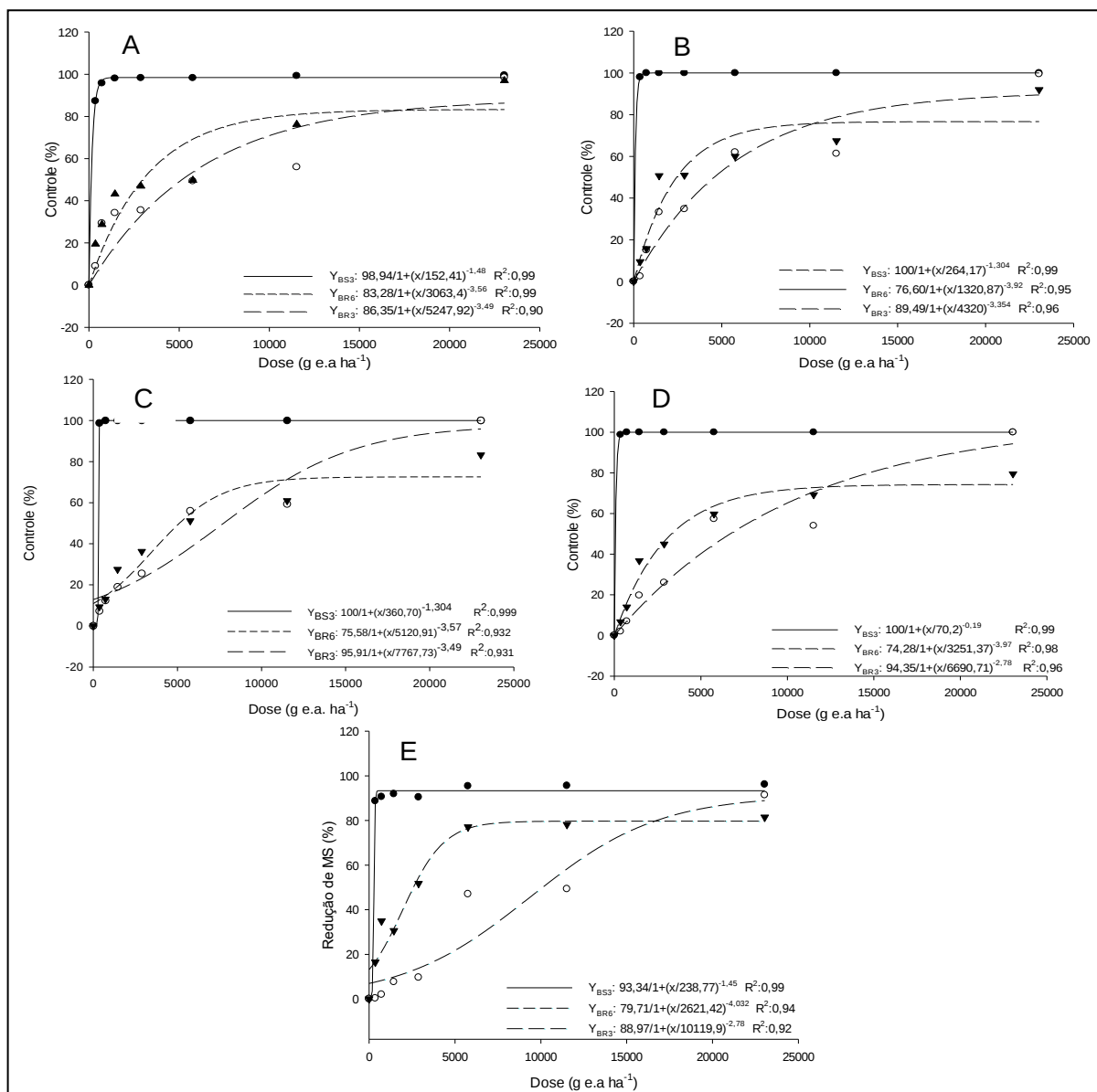


Figura 7. Controle (%) aos 7 (A), 14(B), 21(C) e 28(D) dias após a aplicação do herbicida glyphosate e redução do acúmulo de MS (%) (E) de biótipos de *Amaranthus retroflexus*. Suscetível (BS3) e com suspeita de resistência (BR6 e BR3). FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.

A avaliação de MS corrobora com os resultados descritos (Figura 7), pois apresentaram resultados semelhantes, tendo maior redução de controle para o biótipo BR6 (66,7%) do que para o biótipo BR3 (91,7%). A diferença de sensibilidade entre os biótipos BR6 e BR3 pode estar relacionada a vários fatores associados a resistência, como por exemplo a resistência poligênica, onde ocorre a segregação de genes que conferem a resistência dentro da população ao herbicida glyphosate (MARTINS et al, 2020). Outra hipótese é a existência de diferentes mecanismos de resistência.

Na avaliação de C50 aos 7 DAA (Tabela 5), o biótipo BS3 apresentou o valor de 152,41 g e.a. ha⁻¹, dose menor que a recomendada em bula (1440 g e.a. ha⁻¹), enquanto os valores dos biótipos resistentes BR6 e BR3 foram de 3063,40 e 5247,92 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, sendo valores superiores a dose recomendada em bula para controle de caruru.

Tabela 5. Valores da dose necessária para promover 50% de redução da produção do controle e redução de 50% da massa seca (GR50) e fator de resistência de biótipos de caruru (*Amaranthus retroflexus*) em resposta à aplicação de diferentes doses do herbicida glyphosate. Capão do Leão-RS, 2021.

Biótipo	C50 ² (g e.a. ha ⁻¹)				GR50 ¹ (g e.a. ha ⁻¹)	
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA	28 DAA	28 DAA
BS3	152,41	264,17	360,70	70,2	238,77	
BR6	3063,40	1320,87	5120,91	3251,37	2621,42	
BR3	5247,92	4320,00	7767,73	6690,71	10119,9	

Biótipo	FR ³									
	Controle					MS				
	7 DAA	CV%	14 DAA	CV%	21 DAA	CV%	28 DAA	CV%	28 DAA	CV%
BS3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR6	20,10	14,55	5,00	15,75	14,20	-	46,32	12,69	10,98	15,95
BR3	34,43	14,82	16,35	14,71	21,53	-	95,31	14,49	42,38	19,91

¹ Nível de herbicida que produz 50% de controle (C50). ² Nível de herbicida que produz 50% da biomassa (GR50). ³ FR: Fator de resistência (C50 resistente/ C50 suscetível ou GR50 resistente/ GR50 suscetível).

Aos 28 DAA, o biótipo BS3 teve o valor de C50 de 70,2 g e.a. ha⁻¹, enquanto os biótipos resistentes BR6 e BR3 tiveram valores de 3251,37 e 6690,70 g e.a. ha⁻¹, respectivamente. Para a avaliação de MS aos 28 DAA, observou-se resultados similares, tendo no biótipo suscetível GR50 de 238,77 g e.a. ha⁻¹, dose menor que a recomendada em bula, enquanto os biótipos resistentes BR6 e BR3 tiveram valores de 2621,42 e 10119,9 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, sendo valores superiores à dose recomendada em bula para controle de caruru.

Os biótipos BR6 e BR3 apresentaram FR de 46,32 e 95,31, quando utilizado os valores de C50, aos 28 DAA; e, 10,95 e 42,38 utilizando os valores de GR50, respectivamente. A diferença do FR ocorre devido o C50 ser obtido a partir da avaliação estimada de controle, enquanto o GR50 é obtido de valor exato de pesagem da MS. Contudo, ambos os biótipos apresentaram FR superiores a 10, em ambos os cálculos, confirmando assim a resistência dos biótipos.

Os mecanismos de resistências ao glyphosate podem estar relacionados ou não ao local de ação da molécula herbicida. A resistência relacionada ao local de ação inclui a amplificação do gene; alteração na enzima de ligação; mutação no gene EPSPs; e superexpressão da enzima. As resistências não relacionadas ao local de ação incluem metabolização da molécula do herbicida; absorção e translocação celular limitada; e sequestro vascular ativo (DÉLYE et al., 2015). Os principais mecanismos relatados em plantas daninhas do gênero *Amaranthus* são aqueles que envolvem alterações no local de ação, sendo por mutação, superexpressão ou amplificação da enzima-alvo.

A amplificação do gene EPSPs resulta em cópias extras do gene EPSPs. O mecanismo é hereditário, podendo ser transferido através do pólen de biótipos resistentes para os suscetíveis, dentro da mesma espécie ou transferido para outras espécies do mesmo gênero *Amaranthus* devido a viabilidade entre os cruzamentos de algumas espécies (GAINES et al., 2012).

A mutação que ocorre na enzima EPSPs pode variar conforme o local e tipo de substituição, interferindo assim no nível de resistência (YU et al., 2015). Na literatura, tem-se relatos de tripla substituição de aminoácidos TAP-IVS, em Córdoba-AR (GARCÍA et al., 2020); e duas modificações, sendo elas na posição 106 da prolina e na posição 102 da treonina, que cada uma delas apresenta graus diferentes de resistência. A mutação na prolina apresenta menor insensibilidade nos biótipos, ocasionando baixos níveis de resistência ($FR < 10$), enquanto a mutação na treonina confere alto fator de resistência ($FR > 10$). Contudo, o pior cenário é quando ambas as mutações ocorrem simultaneamente, acarretando o aumento do FR para valores acima de 100 vezes (YU et al., 2015).

- Curva Dose-Resposta para o Herbicida Imazethapyr

O biótipo suscetível (BS3) apresentou percentual de controle próximo a 80% desde a primeira avaliação em todas as doses com herbicida (Figura 8). Os biótipos resistentes (BR6 e BR3) tiveram aumento no controle com o aumento da dose, alcançando percentual de controle próximo aos 80% nas maiores doses.

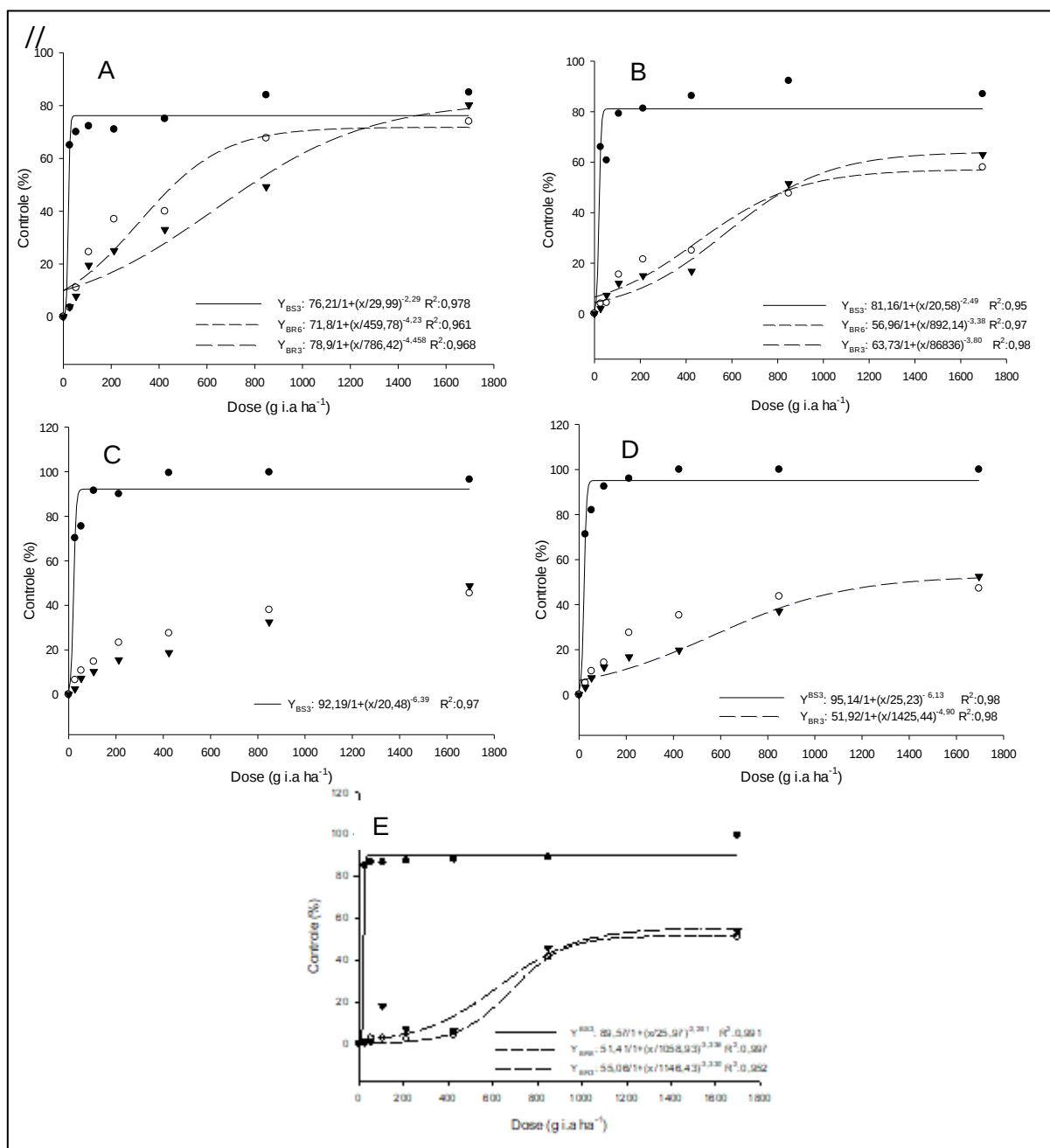


Figura 8. Controle (%) aos 7 (A), 14(B), 21(C) e 28(D) dias após a aplicação e redução do acúmulo de MS (%) (E) de biótipos de *Amaranthus retroflexus*. Suscetível (BS3) e com suspeita de resistência (BR6 e BR3) em função da aplicação de doses crescentes do herbicida imazethapyr. FAEM/UFPEL, Capão do Leão-RS, 2021.

A redução de controle dos biótipos BR6 e BR3 foi observada desde a primeira avaliação, com a utilização da dose recomendada em bula (106 g i.a. ha⁻¹), onde ambos os biótipos apresentaram redução em mais de 65% no controle, quando se comparou com o biótipo suscetível. Na última avaliação, observou-se controle

parecido para os dois biótipos resistentes, onde a redução comparada ao biótipo suscetível foi de 86,8% para o biótipo BR6 e 84,6% para o biótipo BR3.

Na avaliação de MS (Figura 8) constatou-se maior diferença entre os biótipos resistentes, com a utilização da dose recomendada em bula (106 g i.a. ha⁻¹), onde o biótipo BR6 apresentou 79,4% de redução de MS comparado com o biótipo BS3, enquanto o biótipo BR3 teve 97,0% de redução na mesma comparação. Essa diferença pode estar relacionada ao custo adaptativo, onde biótipos diferentes podem apresentar desenvolvimento diferente, mesmo estando em mesmo estágio de desenvolvimento, um pode produzir mais MS que o outro biótipo.

Na avaliação de C50 aos 7 DAA (Tabela 6), o biótipo BS3 apresentou o valor de 29,99 g i.a. ha⁻¹, dose menor que a recomendado em bula (106 g i.a. ha⁻¹), enquanto os valores dos biótipos resistentes BR6 e BR3 foram de 459,78 e 786,43 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, sendo valores superiores à dose recomendada em bula para controle de caruru.

Tabela 6. Valores da dose necessária para promover 50% de redução da produção do controle e redução de 50% de massa seca (GR50) e fator de resistência de biótipos de caruru (*Amaranthus retroflexus*) em resposta à aplicação de diferentes doses do herbicida imazethapyr. FAEM/UFPEL, Capão do Leão-RS, 2021.

Biótipo	C50 ² (g e.a. ha ⁻¹)				GR50 ¹ (g e.a. ha ⁻¹)	
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA	28 DAA	
BS3	29,99	20,58	20,48	25,23	25,97	
BR6	459,78	892,14	*	*	1058,93	
BR3	786,43	868,36	*	1425,44	1143,43	

Biótipo	FR ³									
	Controle						MS			
	7 DAA	CV%	14 DAA	CV%	21 DAA	CV%	28 DAA	CV%	28 DAA	CV%
BS3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR6	40,77	15,74	15,33	16,55	**	-	**	-	40,77	8,99
BR3	44,03	14,51	26,22	15,56	**	-	56,50	11,36	44,03	10,15

¹ Nível de herbicida que produz 50% de controle (C50). ² Nível de herbicida que produz 50% da biomassa (GR50). ³ FR: Fator de resistência (C50 resistente/ C50 suscetível ou GR50 resistente/ GR50 suscetível). * Controle insuficiente para cálculo do GR 50. ** Fator de resistência não calculado pela falta do GR 50%.

Os herbicidas inibidores da ALS atuam na síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina) e por consequência, na síntese do DNA, podendo haver acúmulo de acetohidroxibutirato e redução na translocação de assimilados no floema, o que pode causar efeito em cascata que levam as plantas

suscetíveis à morte. Por apresentarem essa sequência de interferências, os sintomas e a morte da planta podem levar de 7 a 14 dias após a aplicação (SILVA et al., 2007). O que explica as baixas notas de controle no biótipo suscetível nas primeiras avaliações.

Aos 28 DAA, o biótipo BS3 teve o valor de C50 de 25,23 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 6), e o biótipo resistente BR3 teve o valor de 1425,44 g i.a. ha⁻¹, enquanto para o biótipo BR6 não alcançou valores de controle suficiente para obter o valor do C50. Para a avaliação de MS aos 28 DAA, pode-se alcançar todos os valores de GR50, tendo no biótipo suscetível com valor de GR50 de 25,97 g i.a. ha⁻¹, dose menor que a recomendada em bula, enquanto os biótipos resistentes BR6 e BR3 tiveram valores de 1058,93 e 1146,46 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, sendo valores superiores à dose recomendada em bula para controle de caruru.

O FR pôde ser obtido apenas para o biótipo BR3 quando determinado pelo C50 aos 28 DAA (Tabela 6), apresentando valor de FR de 56,50. Para o biótipo BR6 devido ao baixo nível de controle não foi possível calcular o FR. Já, o FR obtido a partir do valor de GR50, foram de 40,77 para o biótipo BR6 e de 44,03 para o biótipo BR3. Ambos os biótipos apresentaram FR superiores à 10, em ambos os cálculos, confirmando assim a resistência dos biótipos.

No mundo, tem-se registro de 47 biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistentes à herbicidas, onde 16 deles são para herbicidas inibidores da enzima ALS, sendo o segundo grupo com mais casos, ficando atrás apenas dos herbicidas inibidores do fotossistema II (32) (HEAP, 2021). No Brasil, tem-se registro de 3 biótipos resistentes, onde apenas um deles se refere ao grupo dos inibidores da enzima ALS.

Diferentes mecanismos acarretam a redução da sensibilidade da planta ao herbicida, desde a absorção até mesmo o sequestro da molécula no vacúolo (DEVINE; EBERLEIN, 1997). Contudo, os mecanismos de resistência mais comuns encontrados aos inibidores da enzima ALS são causados por mutações no gene da ALS (MALLORY-SMITH; NAMUTH, 2012).

O primeiro registro de resistência em *Amaranthus retroflexus* aos inibidores da enzima ALS foi em Israel, causado por mutação no local-alvo (SIBONY et al., 2001). São muitas as variações de aminoácidos do DNA da enzima ALS em organismos vivos já descritos na literatura, no entanto, pelo menos 7 desses são descritas como responsáveis pela resistência de plantas daninhas (Ala122, Pro197,

Ala205, Asp376, Trp574, Ser653 e Gly654) (POWLES; YU, 2010; DUGGLEBY; PANG, 2000).

Os biótipos utilizados neste trabalho foram previamente testados com os herbicidas glyphosate e imazethapyr na geração F1 e realizados a curva dose-resposta para a confirmação da herdabilidade. Ainda, realizou-se a identificação por especialista em botânica, confirmando a espécie *Amaranthus retroflexus*. Para todos os biótipos considerados resistentes foram obtidos FR superiores à 10 nas avaliações de controle aos 28 DAA e MS, confirmando a resistência dos mesmos.

Ambos os biótipos de *Amaranthus retroflexus*, oriundos de lavouras de soja do município de Dom Pedrito-RS apresentaram as características necessárias para a confirmação de resistência aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, o que caracteriza resistência múltipla para o biótipo BR6 e BR3.

3.4 Conclusão

Os biótipos BR6 e o BR3, oriundos do município de Dom Pedrito-RS, são resistentes ao herbicida glyphosate, sendo o primeiro caso de resistência da espécie de *Amaranthus retroflexus* a esse herbicida no Mundo.

Os biótipos BR6 e BR3, oriundos do município de Dom Pedrito-RS, são resistentes ao herbicida imazethapyr.

Confirmou-se a ocorrência de resistência múltipla nos biótipos BR6 e BR3 aos herbicidas glyphosate e imazethapyr.

4 CAPÍTULO III – Custo adaptativo de *Amaranthus retroflexus* e habilidade competitiva com soja

4.1. Introdução

As espécies de *Amaranthus* que infestam as culturas agrícolas brasileiras são plantas anuais, herbáceas, reproduzem-se por sementes e, geralmente, são de difícil diferenciação a campo. Em algumas espécies, uma única planta pode produzir quantidades superiores a 200.000 sementes (KISSMANN; GROTH, 1999; LORENZI, 2000). Essas plantas apresentam extenso período de germinação, fluxo intermitente de emergência, rápido crescimento e desenvolvimento, elevada produção de sementes viáveis e alta viabilidade no solo (HORAK; LOUGHIN, 2000), o que as caracterizam como plantas de difícil manejo. Dentre as espécies mais comuns no Brasil, destaca-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., 2006).

O *Amaranthus retroflexus* é popularmente conhecido como caruru, caruru-áspero, caruru-de-raiz-vermelha, caruru-gigante. Essa planta daninha, além de competir com a cultura, produz compostos alopáticos que podem interferir no desenvolvimento da cultura do milho, soja, batata, amendoim, entre outros cultivos, e pode servir de abrigo para pragas, como é o caso das espécies de tripses (*Selenothrips rubrocinctus* e *Frankliniella schultzei*) e doenças (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011; CARVALHO et al., 2006; MOREIRA; BRAGANÇA, 2011). Atualmente, tem-se registro de dificuldade de controle em áreas de cultivo de soja no sul do Rio Grande do Sul, aos grupos de inibidores da EPSPs (glyphosate) e inibidores da ALS (imazethapyr).

Segundo o International Survey of Herbicide Resistant Weeds (2021), a espécie de *A. retroflexus* apresenta 47 registros de resistência à herbicidas em todo o mundo. Os primeiros registros ocorreram em 1980 em Indiana-EUA, para o herbicida atrazina (inibidor do fotossistema II (FSII)) e na Alemanha com resistência múltipla a atrazina e fenuron (FSII). No mundo, há relatos de resistência de *A. retroflexus* à herbicidas dos grupos inibidores da ALS, FSII e protoporfirinogênio oxidase (PPO). No Brasil, o primeiro caso de *A. retroflexus* resistente à herbicidas foi em 2011, com resistência múltipla aos inibidores da ALS e FSII. Nos anos de 2012 e 2014 foram registrados mais dois casos, sendo eles aos inibidores da ALS e PPO, respectivamente.

Quando se pensa em dinâmica populacional e sucessão, sabe-se que a predominância de uma espécie no ambiente é dependente das condições do nicho e da adaptação das plantas a estas condições. Estes aspectos são reflexos das características genéticas e ecofisiológicas das espécies, tais como a exigência e eficiência na utilização de recursos, ciclo de vida, produção de sementes, possibilidade de propagação vegetativa e disseminação no tempo e espaço (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007). Nesse sentido, a sucessão e dominância de espécies é ditada por eventos naturais ou provocados pelo homem e os fatores que ocasionam a eliminação ou sobreposição de uma espécie são denominados agentes selecionadores.

O custo adaptativo refere-se ao sucesso evolutivo combinando características de sobrevivência e reprodução, sendo utilizadas taxas de crescimento e produção de sementes, detectando assim possíveis diferenças funcionais e estruturais entre biótipos (HOLT; RADOSEVICH, 1983). Assim, a comparação entre biótipos de *A. retroflexus*, oriundos do mesmo local, é uma importante ferramenta para entender o crescimento, a sobrevivência em função do aproveitamento dos recursos do ambiente e se houveram alterações causadas pela resistência.

Para determinação das interações competitivas entre culturas e plantas daninhas, existem vários métodos, que consideram fatores de densidade, proporção e arranjo espacial entre as plantas. Entretanto, estudos em série aditiva, acompanhados de série de substituição, são os mais utilizados por sua praticidade, além de manterem a densidade no nicho constante, permitindo avaliar a competição intra e interespecífica (AGOSTINETTO et al., 2009). Além disso, estudos de

habilidade competitiva entre biótipos de *A. retroflexus* e soja permitirão desenvolver estratégias de manejo, a fim de evitar a disseminação da resistência em função das alterações no crescimento e desenvolvimento.

O estudo teve como hipótese que biótipos de *A. retroflexus* suscetíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr apresentam desenvolvimento mais rápido do que biótipos resistentes; e, quando em convivência com a soja, o biótipo resistente tem menor habilidade competitiva. Objetivou-se com o estudo avaliar o custo adaptativo entre biótipos da *A. retroflexus* e a habilidade competitiva de *A. retroflexus* resistente em associação com a soja.

4.2 Material e Métodos

Realizou-se dois experimentos (custo adaptativo e habilidade competitiva), em casa de vegetação na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel), no município de Capão do Leão-RS, entre os meses de outubro de 2020 a março de 2021.

4.2.1 Custo adaptativo em *Amaranthus retroflexus* resistente e suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

O delineamento experimental utilizado foi de esquema fatorial 2x7, onde o primeiro fator foi constituído pelos biótipos de *A. retroflexus* suscetível (BS3) e resistente (BR6); e o segundo fator por sete épocas de coleta (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 dias após o transplante (DAT)).

Para a produção das plântulas de caruru, as sementes passaram por quebra de dormência utilizando escarificação com lixa grossa e embebição em solução de ácido giberélico (3 mmol) durante três dias em câmara BOD com fotoperíodo de 16h dia e 8h noite, nas temperaturas de 35°C dia e 30°C noite. Posteriormente as sementes foram semeadas em bandejas para produção das plântulas. Quando as plântulas estabelecidas foram transplantadas para cada unidade experimental, composta por vaso de polietileno, com diâmetro de 23 cm e capacidade de 4,5 dm³.

As variáveis de crescimento analisadas em cada época foram: estatura de planta (EP); comprimento da raiz (CR); número de folhas (NF); área foliar (AF); massa seca da parte aérea (MSPA); massa seca da raiz (MSR); índice de área foliar (IAF); razão de área foliar (RAF); e taxa de crescimento absoluto (TCA). A EP e CR foram

dimensionados com o auxílio de régua milimétrica; o NF foi quantificado através de contagem; a AF foi determinada com auxílio de medidor de área foliar (LI-COR 3100C). A MSPA e MSR foram obtidas pela secagem da parte aérea e radicular, coletadas em cada época, e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C até a estabilização da massa das amostras, sendo pesadas em balança analítica (g).

O IAF expressa a relação entre a área foliar total por unidade de área da parcela (unidade experimental). A RAF expressa a relação da AF e MSPA ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), indicando a área foliar disponível a fotossíntese, obtida pela equação:

$$\text{RAF} = \frac{(\text{AF}_1 + \text{AF}_2)}{(\text{MSPA}_1 + \text{MSPA}_2)}$$

A TCA, expressa a velocidade média de crescimento em determinado período (g dia^{-1}), obtido pela equação:

$$\text{TCA} = \frac{(\text{MSPA}_1 + \text{MSPA}_2)}{(T_1 + T_2)}$$

onde MSPA1 e MSPA2 são as variações da MSPA em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T_1 e T_2 (MAGALHÃES, 1979).

Os dados foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro Wilk), posteriormente submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando houve significância estatística, realizou-se análise de regressão para o fator época de avaliação, e utilizou-se o modelo não linear sigmoidal ou o modelo quadrático:

$$y = \frac{a}{(1 + e^{(\frac{x-x_0}{b})})}$$

onde: “y” representa a variável resposta; “x” são os dias após o transplante; e “a”, “ x_0 ” e “b” são parâmetros da equação, em que “a” é a diferença entre a assíntota máximo e mínimo da curva; “ x_0 ” são os dias após o transplante correspondente a 50% do rendimento da variável dependente para assíntota máximo da curva; e “b” é a declividade da curva.

$$y = y_0 + a * x + b * x^2$$

onde: o “y” representa a variável resposta de interesse; “x” dias após o transplante; e as variáveis “a”, “ x_0 ” e “b” são parâmetros da equação, onde o “a” é a diferença entre a assíntota máximo e mínimo; “ x_0 ” são os dias após o transplante correspondente a 50% do rendimento da variável dependente para assíntota máximo da curva; e “b” é a declividade da curva.

4.2.2 Habilidade competitiva de *Amaranthus retroflexus* em convivência com soja

Para definição da população total por unidade experimental, se utilizou o critério definido por Ruchel (2018), sendo o K para caruru de 12 plantas, enquanto o K para soja de 8 plantas. Nesse sentido, a densidade de plantas na unidade experimental para o estudo foi mantida constante em 12 plantas, equivalente à 280 plantas m^{-2} , em associação dos competidores ou em monocultivo.

Para obtenção das plântulas de caruru adotou-se o mesmo critério descrito anteriormente, sendo as mudas transplanta para a unidade experimental e a soja semeada diretamente na unidade experimental, sincronizando o transplante das plântulas de caruru com a estádios da soja (duas folhas verdadeiras). As unidades experimentais consistiram em vasos com capacidade de 4L, diâmetro de 23 cm e 4,0 Kg de solo.

A série substitutiva busca quantificar a habilidade competitiva entre duas espécies, consistindo em mantê-las em monocultivo e em associações variadas, mantendo uma população final constante de 280 plantas por m^{-2} . As combinações, soja:caruru, utilizadas no experimento foram 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100%, em convivência na duração de 45 dias.

Ao final do período de condução do experimento realizou-se a determinação das variáveis: estatura de planta (EP), massa seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) de todas as plantas que compõem cada unidade experimental, utilizando-se a mesma metodologia descrita no experimento anterior.

A análise das variáveis foi realizada pelo método de análise gráfica para experimentos substitutivos (ROUSH et al., 1989; COUSENS, 1991; RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007), consistindo na construção de diagramas com base na produtividade relativa (PR) e produtividade relativa total (PRT), pelas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% da cultura (soja) e da planta daninha (*A. retroflexus*). A PR foi calculada utilizando o quociente entre a média da associação pela média do monocultivo, somando ao cálculo a média por planta de cada biótipo em cada unidade experimental. A PRT foi calculada pela soma das produtividades relativas da cultura (soja) e da planta daninha (*A. retroflexus*), em suas respectivas proporções de plantas (HOFFMAN; BUHLER, 2002).

Os diagramas de PR e PRT são respostas à comparação dos resultados observados em relação a reta teórica unindo os pontos 0 e 100% para PR, e ligando os pontos 100% para PRT. Quando a PR ou PRT for igual à reta teórica, indica a não existência de interferência entre as espécies, se a linha for côncava indica prejuízo no crescimento de um ou de ambos, e quando PR formou linha convexa houve benefício no crescimento de um ou de ambos.

Foram calculados os índices de competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C) na proporção de 50% entre o caruru e a soja. Onde a CR refere-se ao crescimento comparativo da espécie daninha com a cultura; K indica a dominância relativa de planta sobre a outra; e C indica qual das espécies é mais competitiva (COUSENS, 1991).

A cultura será mais competitiva que a planta daninha quando $CR > 1$, $K_{\text{cultura}} > K_{\text{competidor}}$ e $C > 0$; enquanto a planta daninha é mais competitiva quando $CR < 1$, $K_{\text{cultura}} < K_{\text{competidor}}$ e $C < 0$. Estes índices são calculados pelas equações a seguir (HOFFMAN; BUHLER, 2002):

$$CR = \left(\frac{1-p}{p} \right) \left(\frac{PRC}{PRD} \right)$$

$$KC = \left(\frac{1-p}{p} \right) \left(\frac{PRC}{1-PRD} \right)$$

$$KD = \left(\frac{1-p}{p} \right) \left(\frac{PRD}{1-PRD} \right)$$

$$CM = \left(\frac{PRC}{2p} \right) \left(\frac{PRC}{(2(1-P))} \right)$$

Para análise estatística da produtividade relativa, calculou-se a diferença de PR, em outras palavras, as diferenças relativas de produtividade (DPR), nas proporções de 25, 50 e 75% de plantas, em relação as retas hipotéticas nas respectivas proporções. Em sequência realizou-se o teste “t” a 5% de probabilidade, para verificar as diferenças nos índices DPR, PRT, CR, K e C (ROUSH et al., 1989; HOFFMAN; BUHLER, 2002). O critério adotado para considerar as curvas de PR e PRT diferentes das retas teóricas foi a existência de diferença significativa pelo teste t, em ao menos duas proporções. Semelhantemente, adotou-se o mesmo critério para os índices CR, K e CM (BIANCHI; FLECK; LAMEGO, 2006). As médias obtidas nas variáveis AF, MS, EP e NA foram avaliadas quanto à normalidade (teste de Shapiro-

Wilk) e homocedasticidade (teste de Hartley) e, posteriormente, submetidas à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando constatada significância estatística, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

4.3 Resultados e Discussão

Os resultados serão apresentados seguindo a mesma ordem apresentada no material e métodos.

4.3.1 Custo adaptativo em *Amaranthus retroflexus* resistente e suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

A análise de variância indicou haver interação entre os biótipos e as épocas para todas as variáveis (Figuras 9 a 17). Os dados das variáveis EP, MSPA se ajustaram ao modelo sigmoidal de três parâmetros, enquanto CR, NF, AF, MSR, RAF, IAF e TCR não se ajustaram aos modelos testados.

Para a variável estatura de planta (EP) (Figura 9), observou-se diferença significativa entre os biótipos de caruru na primeira época de avaliação, dos 15 até os 75 DAT. Contudo, nas últimas duas avaliações (90 e 105 DAT) não se verificou mais diferença entre biótipos (Figura 9). O biótipo suscetível (BS3) apresentou crescimento superior no período inicial, precisando apenas 9,36 dias para alcançar 50% do seu crescimento, enquanto que o biótipo BR6 levou 17,52 dias, o que pode ser uma vantagem em termos de manejo, tendo em vista que esse biótipo pode suprimir o desenvolvimento de plantas do biótipo resistente (BR6). Já quando comparada com a cultura, o biótipo suscetível pode crescer mais rapidamente, o que pode ser problema de competitividade interespecífica quando não se realiza controle dessas plantas.

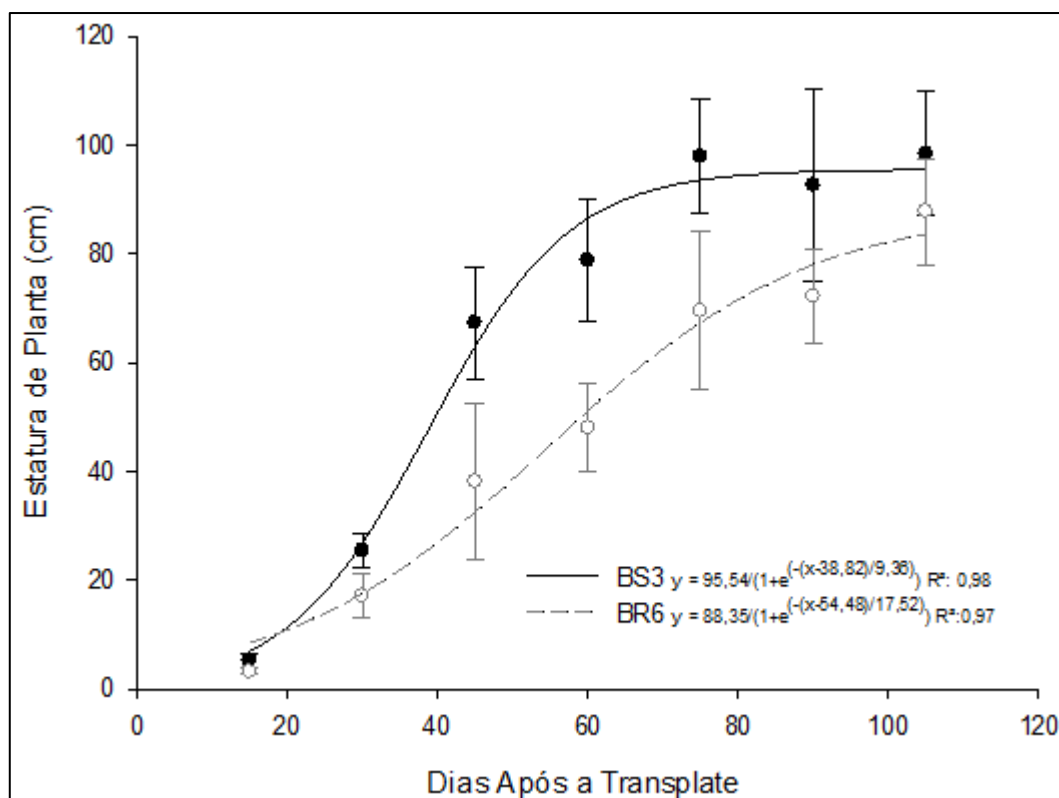


Figura 9. Estatura de planta (EP) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) com linha contínua representa o biótipo BS3, bolas abertas cinzas (○) com linha tracejada representa o biótipo BR6.

A estatura de plantas está associada diretamente à captação de luz, favorecendo assim os processos fotossintéticos por absorver luz em maior quantidade e de melhor qualidade, possibilitando que plantas mais altas suprimam as menores, reduzindo seu desenvolvimento e podendo levá-las à morte (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007; FLECK et al., 2008). A espécie de *A. retroflexus* são popularmente conhecidas como caruru-gigantes, devido às plantas dessa espécie alcançarem estatura de 50 até 180 cm (LORENZI, 2006), ocupando maiores espaços e dominando assim o nicho onde se desenvolvem.

A velocidade no desenvolvimento das plantas é também um ponto crucial para se sobressair competitivamente. As plantas de caruru têm seu desenvolvimento inicial acelerado, sendo característica importante para dominar a área antes que a cultura, além de facilmente perder-se o estágio correto de aplicação, levando às falhas de controle.

Os resultados observados para a variável comprimento da raiz (CR) demonstraram não diferir estatisticamente durante o período avaliado (Figura 10). O incremento deu-se no período de 0 a 35 DAT, alcançando estabilização no comprimento da raiz a partir dessa época, variando de 35 a 50 cm até a última avaliação. Este resultado pode ser decorrente do estudo ter sido conduzido em ambiente restritivo, tendo como unidades experimentais vasos com capacidade de 4,0 Kg, onde no período de 30 dias já havia ocupado todo o nicho.

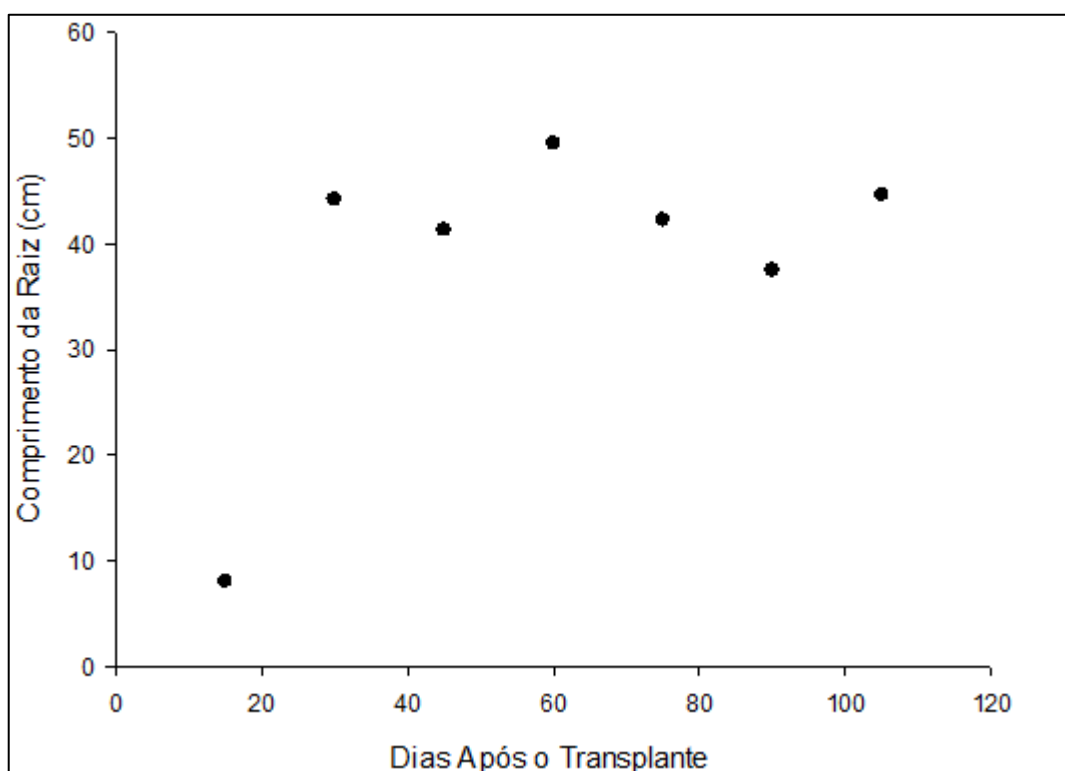


Figura 10. Comprimento da raiz (CR) de biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistente e suscetíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21. Bolas fechadas pretas (●) representam as médias dos biótipos avaliados, que não diferiram entre si.

O comprimento de raiz é importante para a sustentação e absorção nutricional. As plantas de *A. retroflexus* apresentam grande porte, o que exige estrutura radicular robusta para a sustentação da planta. Além da sustentação, raízes maiores tem maior área de contato com o solo e alcançam maiores profundidades, o que melhora a absorção de nutrientes e água.

Para a variável número de folhas, em ambos os biótipos se observou acúmulo semelhante até aos 75 DAT, tendo aumento nos dois últimos períodos avaliados (90

e 105 DAT) (Figura 11). No entanto, diferenças entre os biótipos foram observadas apenas na última avaliação (105 DAT), sendo que o biótipo resistente (BR6) apresentou 37,2% mais folhas que biótipo suscetível (BS3). Cabe salientar que entre épocas não obteve-se ajuste dos dados aos modelos testados (Figura 11).

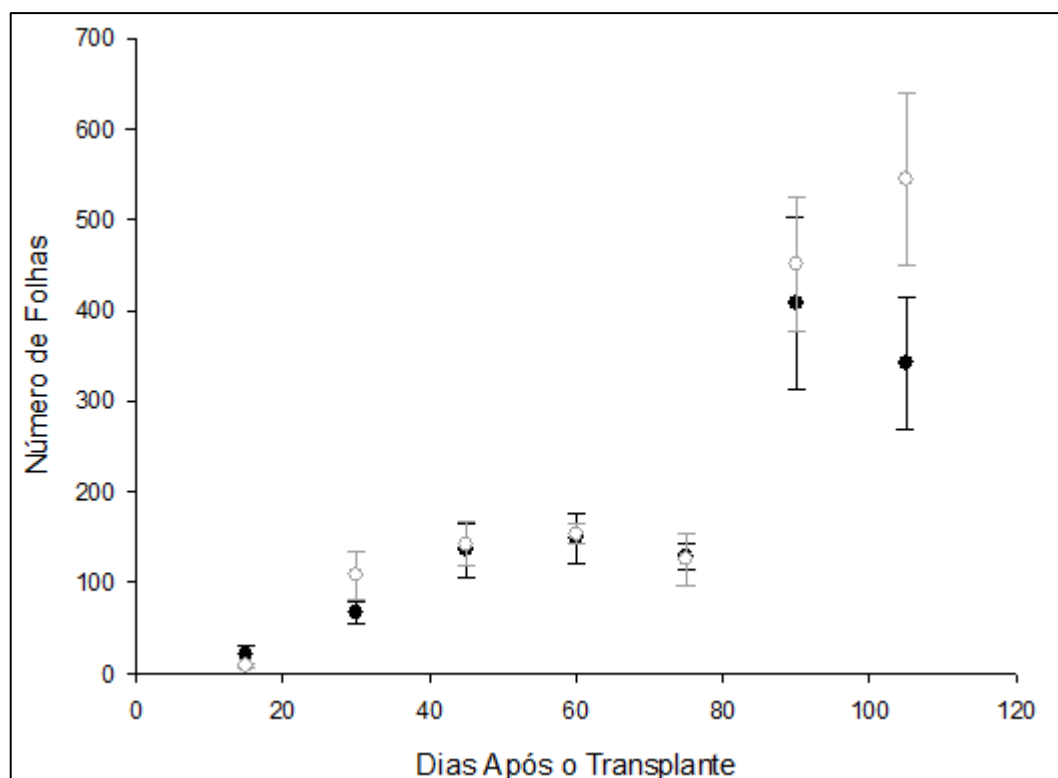


Figura 11. Número de folhas (NF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPEL, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bola aberta cinzas (○) representa o biótipo BR6.

A variável número de folhas está diretamente relacionada com a área de absorção solar, juntamente com a área foliar. Além disso, plantas com maior número de folhas apresentam vantagens na ocupação do espaço e por consequência, podem suprimir o desenvolvimento de plantas vizinhas.

A área foliar é o fator mais determinante na área de absorção de radiação. Plantas com maior limbo foliar podem apresentar maiores áreas úteis de absorção, mesmo com menos folhas. Pode-se observar na avaliação de AF diferença estatística nas avaliações 30, 45 e 105 DAT (Figura 12), onde o biótipo suscetível apresentou,

nas avaliações 30 e 105 DAT, maior área foliar. Já aos 45 DAT, o biótipo BR6 apresentou mais área foliar. De modo similar a variável anterior, não se obteve ajuste dos dados aos modelos testados.

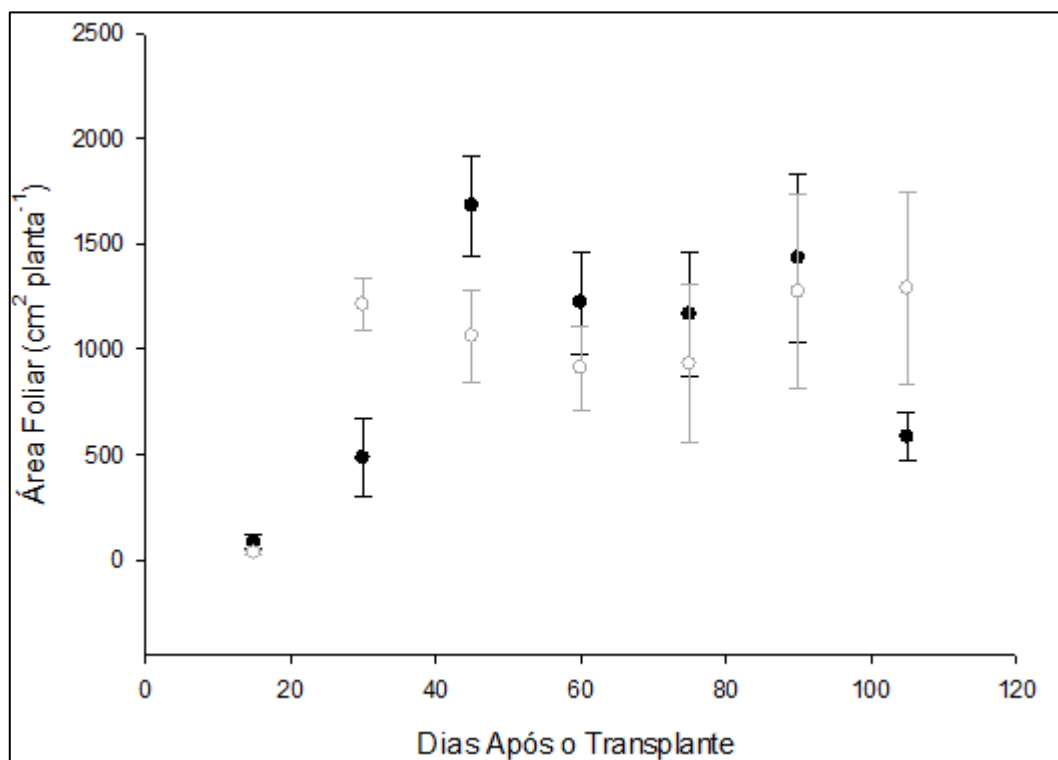


Figura 12. Área foliar (AF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bolas abertas cinzas (○) representa o biótipo BR6.

O acúmulo de MSPA é a principal variável que manifesta o crescimento e eficiência na utilização de recursos. Assim, as plantas que apresentam maior acúmulo de matéria seca são associadas às mais competitivas, tendo maior capacidade de suprimir suas competidoras (FLECK et al., 2006). A variável MSPA apresentou maiores massas na maioria das épocas de avaliação para o biótipo suscetível (BS3), onde apenas nas épocas 60 e 75 DAT não foram apresentadas diferenças estatísticas (Figura 13). Para ambos os biótipos, observou-se tendência de estabilização da produção de MSPA, onde o biótipo suscetível (BS3) atingiu a assíntota a partir dos 45 DAT, enquanto o biótipo resistente (BR6) foi próximo aos 70 DAT.

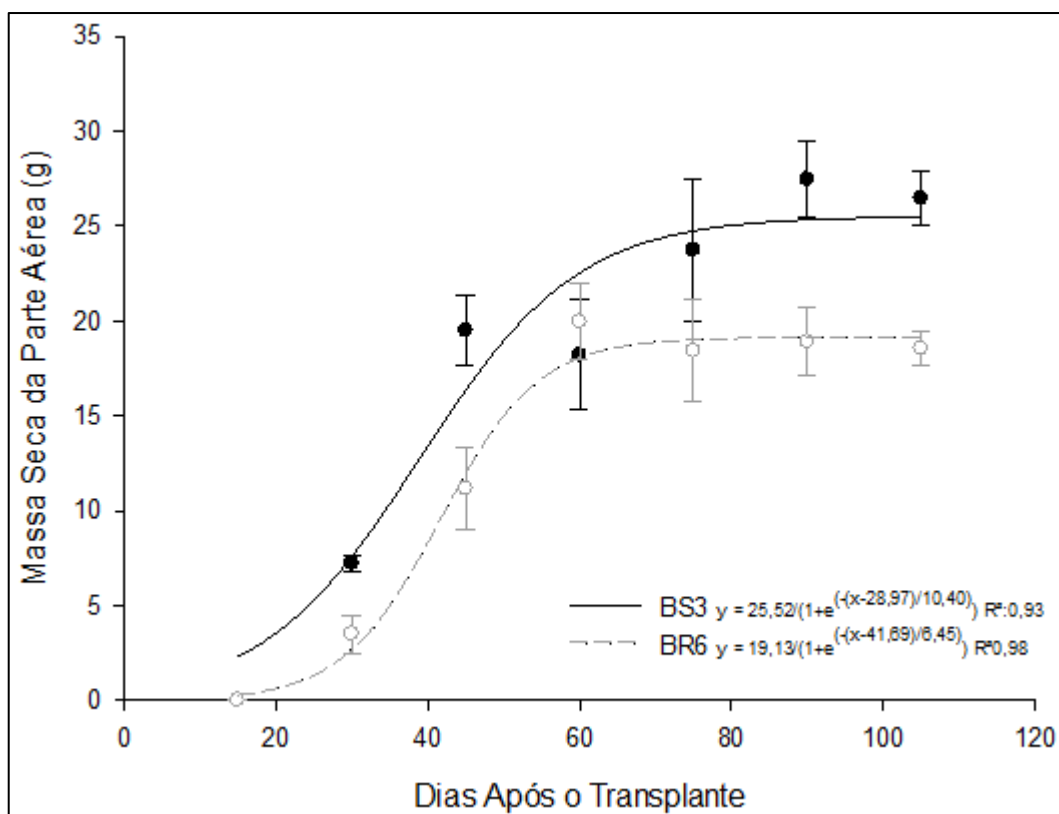


Figura 13. Massa seca da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bola fechada (●) com linha contínua preta representa o biótipo BS3, bola aberta (○) com linha tracejada cinza representa o biótipo BR6.

Estudos mostram que a data de emergência tem influência no acúmulo de área foliar e massa seca das espécies, locais com condições favoráveis, pode levar a um acúmulo de ordem de 5.000 cm² planta⁻¹ e 55 g planta⁻¹ para a espécie de *A. retroflexus* (HORAK; LOUGHIN, 2000). A diferença no desenvolvimento e crescimento é influenciável pela data de emergência, radiação solar ou o efeito de fotoperíodos reduzidos, que possivelmente estimularam prematuramente a diferenciação floral das plantas (HORAK; LOUGHIN, 2000).

A massa seca da raiz apresentou diferença estatística apenas nas datas 30 e 60 DAT (Figura 14), apresentando as maiores massas para o biótipo BS3 em ambas as épocas. Igualmente ao comprimento de raiz, observou-se acúmulo da MSR até os 60 DAT e redução a partir desta época. O biótipo suscetível (BS3), apresentou sistema radicular mais desenvolvido aos 30 e 60 DAT, indicando que, nessas épocas, o biótipo BS3 apresenta melhor eficiência no uso da água e na assimilação de nutrientes

limitados no ambiente, podendo ainda contribuir na redução da erosão e melhorar as características biológicas do solo através do maior sequestro de carbono (DERU et al., 2014). Para nenhum dos biótipos observou-se ajuste dos dados aos modelos testados.

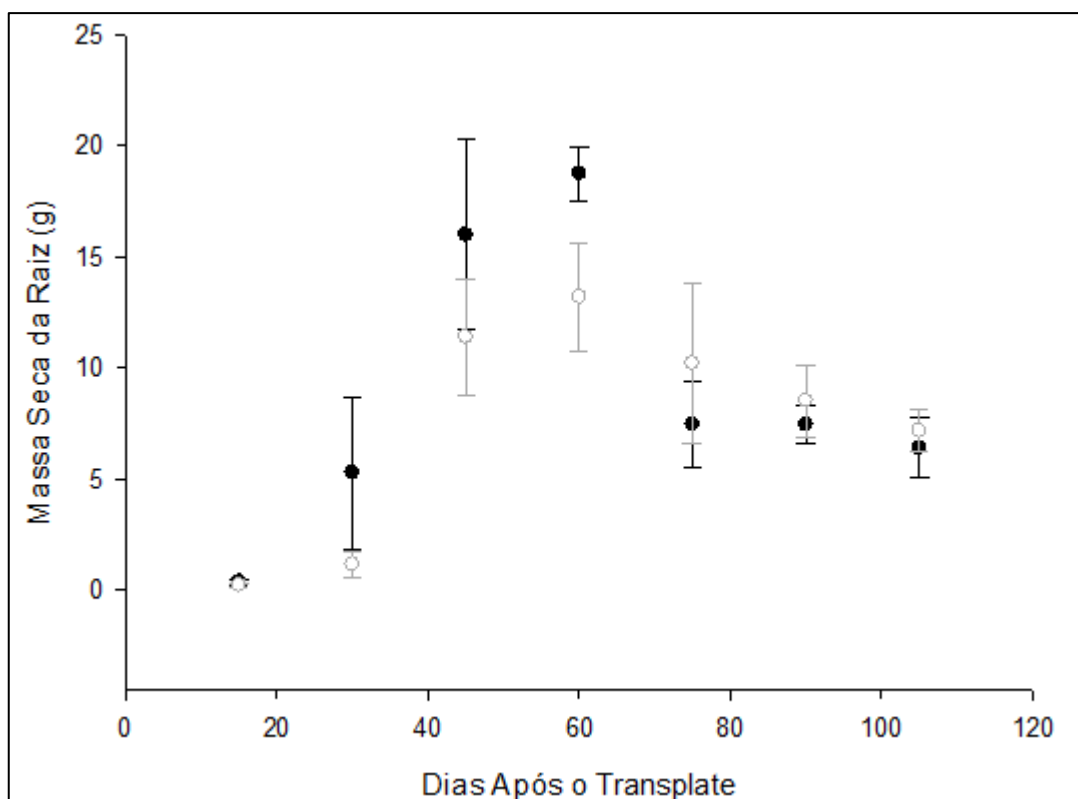


Figura 14. Massa seca da raiz (MSR) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bolas abertas cinzas (○) representa o biótipo BR6.

O índice de área foliar (IAF) apresentou comportamento semelhante a AF, sendo observando diferença estatística nas avaliações 30, 45 e 105 DAT (Figura 15), onde o biótipo suscetível apresentou, nas avaliações 30 e 105 DAT, as maiores áreas foliares e maior IAF. Já, aos 45 DAT, o biótipo BR6 apresentou maior área foliar e maior IAF.

Ambos os biótipos se desenvolveram em locais limitados, mas com isenção de competição e com a mesma disponibilidade de recursos. As variáveis IAF e AF estão relacionadas com a interceptação de luz e capacidade fotossintética, sendo

assim, plantas com maiores IAF e AF são mais eficientes na fixação de CO₂, o que pode ser vantajoso quando em competição (FRAGA et al., 2013). De modo similar a outras variáveis, para ambos os biótipos não se observou ajuste dos dados aos modelos testados.

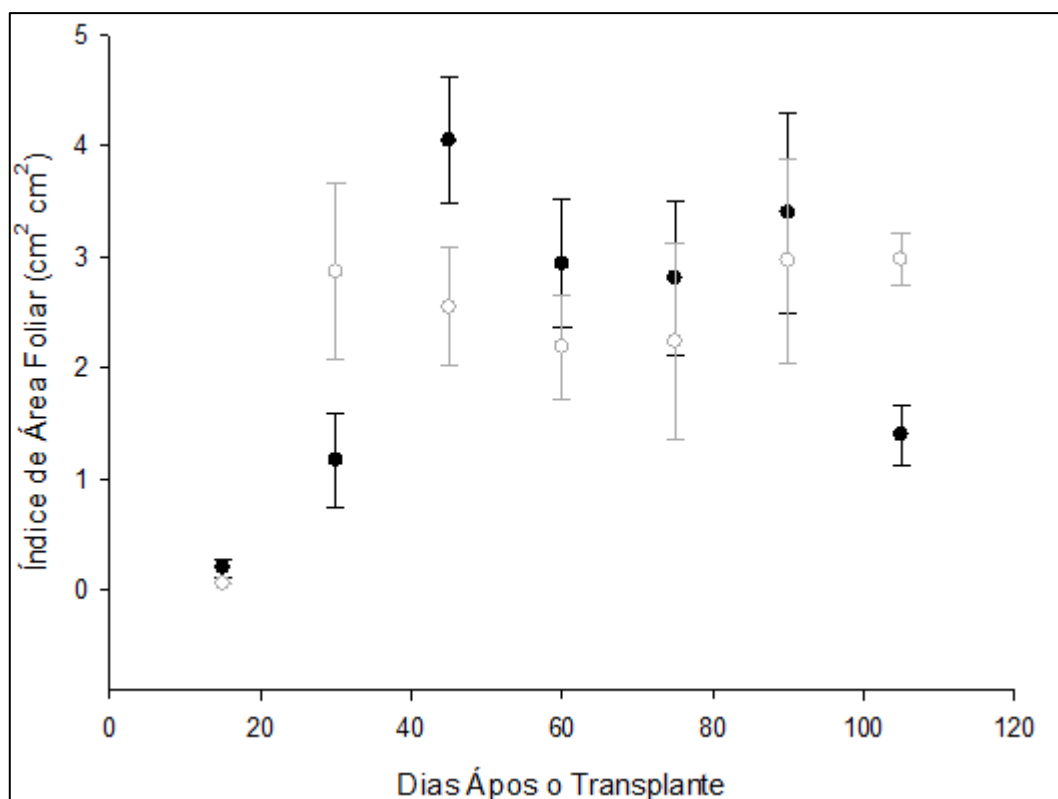


Figura 15. Índice de área foliar (IAF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bolas abertas cinzas (○) representa o biótipo BR6.

A RAF é a resposta ao longo do tempo pela conversão dos fotoassimilados para os órgãos de reserva e produção, quanto menor seu valor, maior o desvio de fotoassimilados para órgãos de reserva e de reprodução (URCHEI; RODRIGUES; STONE, 2000). Por outro lado, quanto maior o valor, maior a capacidade de interceptar a energia e a elasticidade para compensar baixas densidades populacionais (FERREIRA et al., 2008).

Observou-se decréscimo em ambos os biótipos na variável RAF (Figura 16), comportamento que ocorreu devido ao redirecionamento dos fotoassimilados para o

desenvolvimento de estrutura de caule, raízes e propágulos, levando a redução da eficiência na conversão de energia em função da redução da superfície fotossintetizante (URCHEI; RODRIGUES; STONE, 2000). Como houve redução da MSPA alguns dos valores da RAF ficaram negativos, tendo na última avaliação ambos os valores negativos.

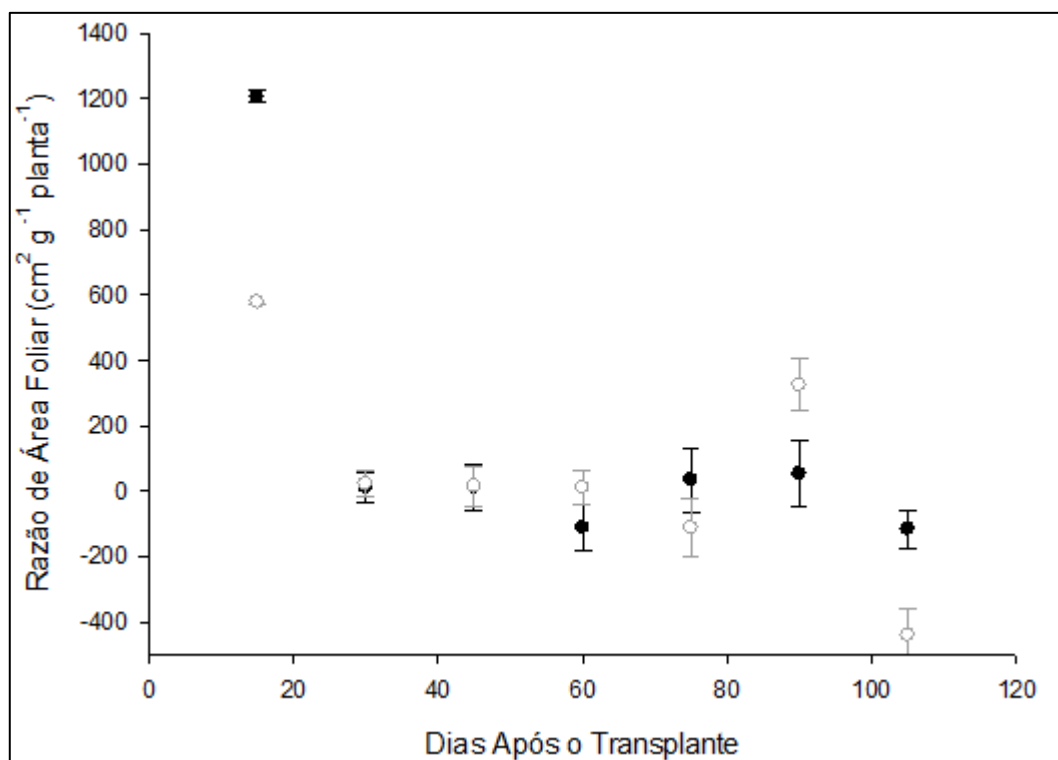


Figura 16. Razão de área foliar (RAF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolinhas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bolinhas abertas cinzas (○) representa o biótipo BR6.

A TCR apresentou incremento até os 45 DAT, havendo decréscimo partir desta época (Figura 17). Observou-se diferença significativa apenas aos 45 e 60 DAT, onde aos 45 DAT o biótipo suscetível (BS3) apresentava maior ganho, e aos 60 DAT, o biótipo resistente (BR6) apresentava maior ganho. As maiores variações de TCR foram observadas no biótipo resistente (BR6).

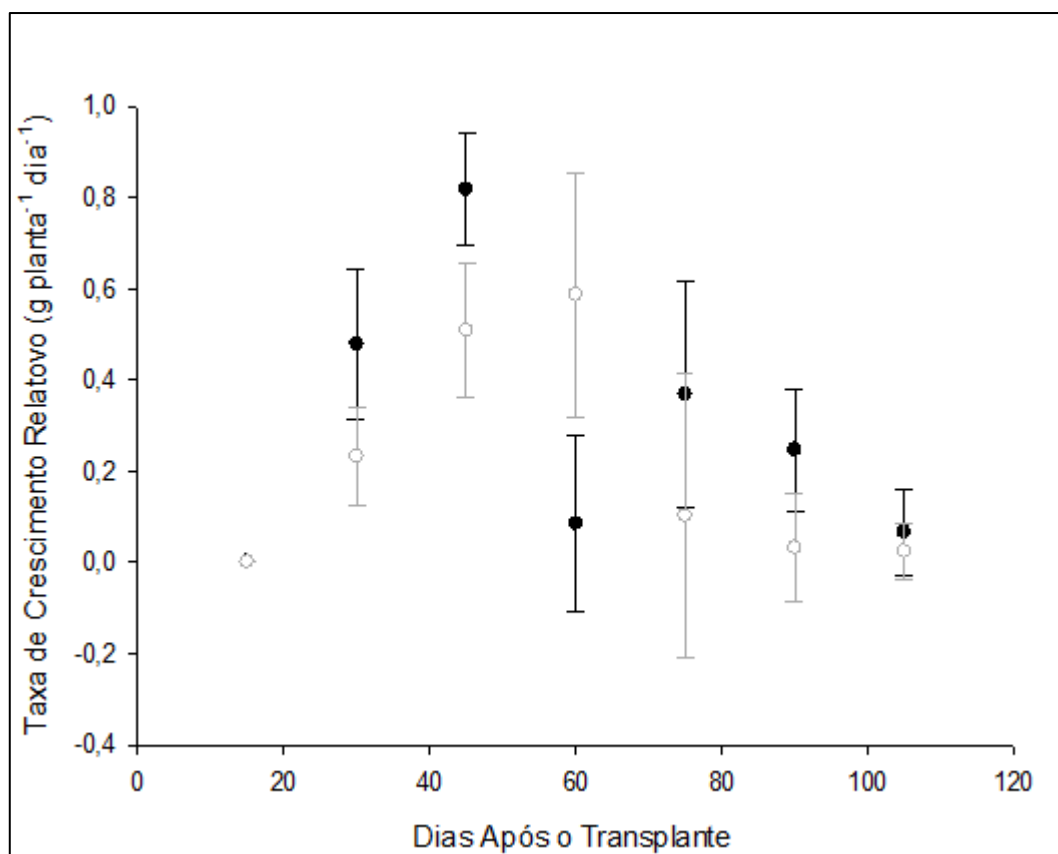


Figura 17. Taxa de crescimento relativo (TCR) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e suscetível (BS3) aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, avaliado dos 15 aos 105 dias após o transplante das plântulas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020/21. Os pontos representam os valores médios das repetições dos biótipos e, as barras, representam os intervalos de confiança em cada época. Bolas fechadas pretas (●) representa o biótipo BS3, bolas abertas cinzas (○) representa o biótipo BR6.

É comum encontrar estudos de comparação entre biótipos de plantas daninhas, sendo principalmente utilizados na comparação de plantas suscetíveis e resistentes (GRAY et al., 1995). Pode-se verificar na literatura estudos que buscaram comparar biótipos de caruru palmeri (*Amaranthus palmeri*), resistente ao glifosato; azevém (*Lolium multiflorum*), resistente a iodosulfuron-metílico e fluazifop; sagitária (*Sagitaria montevidensis*), resistente aos inibidores do FSII (LAMEGO et al., 2011; FRAGA et al., 2013; VILA-AIUB et al., 2014; MARIANI et al., 2016; PITOL, 2019). Estes estudos demonstraram desenvolvimentos semelhantes entre os biótipos, tendo a presença de diferenças pontuais, principalmente nas variáveis AF e MSAP em algumas épocas de avaliação, mas não suficientes para afirmar superioridade de um em relação ao outro.

A resistência pode causar perdas em biótipos resistentes quando é comparado com biótipos suscetíveis. Em estudo que comparou biótipos de *A. tuberculatus* (caruru), observou-se desenvolvimento inicial reduzido do biótipo resistente quando comparado com o biótipo suscetível (BUTTS et al., 2018). Resultado que corrobora com o encontrado neste trabalho, onde constatou-se redução no desenvolvimento inicial do biótipo de *A. retroflexus* resistente quando comprado com o biótipo suscetível. Contudo, observou-se a inversão na última época, onde o biótipo resistente passou a ter as maiores médias das variáveis, com exceção apenas da MSPA, que o biótipo suscetível, que havia apresentado as maiores médias em praticamente todo o ciclo.

Essa vantagem do biótipo resistente no final do período de avaliação pode estar relacionada à melhor conversão dos recursos e condições disponíveis, tendo em vista que o nicho onde estava sendo conduzido era limitado pela área do vaso. Este resultado sugere que, em condições restritivas, o biótipo resistente pode se adaptar melhor que o biótipo suscetível.

Em resumo, para o estudo de custo adaptativo, pode-se observar que, nos primeiros períodos de avaliação, o biótipo suscetível (BS3) destacou-se com as maiores médias e sendo superiores ao biótipo resistente (BR6). No entanto, quando comparados os biótipos nas últimas avaliações, o biótipo resistente (BR6) foi superior na maioria das variáveis estudadas, exceção apenas da MSPA. Nesse caso, o biótipo resistente (BR6) pode ter o desenvolvimento mais lento, comparado com o biótipo suscetível (BS3). Outra hipótese é que o biótipo resistente (BR6) é mais bem adaptado às condições adversas e conseguiu melhor aproveitar os recursos e condições disponíveis nas unidades experimentais.

4.3.2 Habilidade competitiva de *Amaranthus retroflexus* em convivência com soja

A análise gráfica do experimento de habilidade competitiva para a PR e PRT da associação da soja com caruru nas variáveis EP, MSPA e AF não foram equivalentes e apresentaram diferenças, uma vez que os resultados obtidos diferiram das linhas hipotéticas (Figuras 18, 19 e 20, Tabela 7).

Para a variável estatura de planta (EP), verificou-se que a PR da cultura da soja não diferiu da linha de tendência hipotética (Figura 18, Tabela 7). Já para a PR

da planta daninha, a linha não diferiu da tendência hipotética até a proporção 75:25 (soja:caruru). No entanto, o aumento da proporção de caruru levou a redução da estatura de plantas das mesmas. A PRT apresentou os mesmos efeitos da linha PR do caruru, se mantendo insignificativa a linha de tendência hipotética até a proporção 75:25 (soja:caruru) e apresentando redução da estatura total nas proporções com maiores números de caruru. Este resultado indica que a interação intraespecífica foi danosa à planta daninha para a variável EP, enquanto a interespecífica não afetou a cultura (Figura 18, Tabela 7).

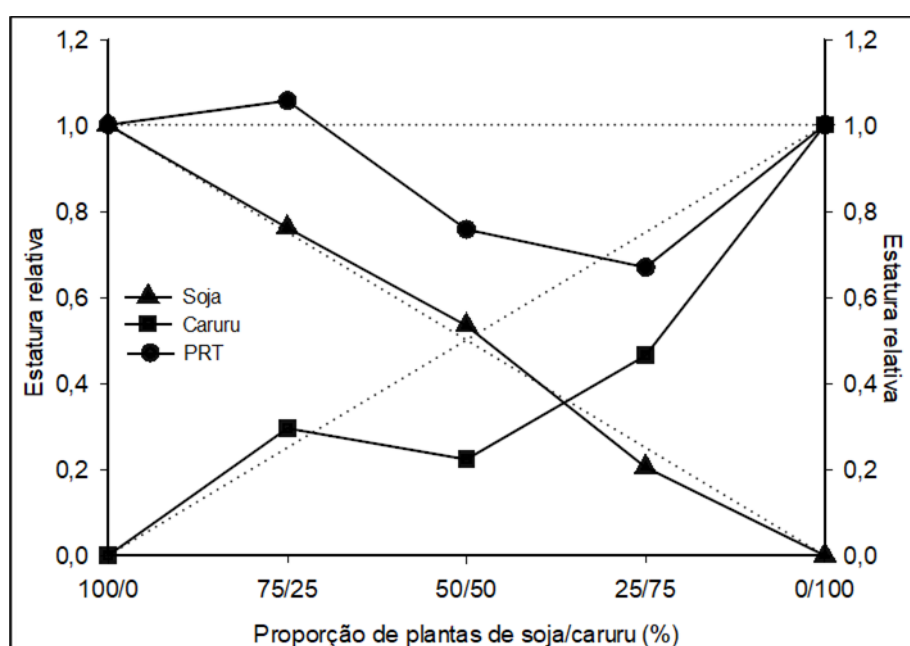


Figura 18. Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para estatura de planta (EP) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2016. Triângulos (▲) representam a PR da soja, quadrados (■) a PR do biótipo de caruru (●) indicam a PRT. Linhas pontilhadas referem-se às produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

O comportamento da variável massa seca da parte aérea (MSPA), verificou-se que PR da cultura ficou abaixo do esperado até a proporção 75:25 (soja:caruru), e com o aumento da proporção de caruru, apresentou diferenças estatísticas superiores à linha de tendência hipotética (Figura 19, Tabela 7). Já para a PR da planta daninha, a linha diferiu em todas as proporções, se mantendo abaixo da linha de tendência hipotética (Figura 19, Tabela 7). A PRT apresentou mesma tendência que a PR da planta daninha, apresentando redução da MSPA total em todas as proporções (Figura 19, Tabela 7).

Tabela 7. Diferenças relativas de produtividade (PR) e produtividade relativa total (PRT), para as variáveis estatura de planta (EP), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA), nas proporções de plantas de soja:caruru. FAEM/UFPeL, Capão do Leão-RS, 2021.

Espécie	Proporção (%) de plantas associadas (soja:caruru)		
	75:25	50:50	25:75
Estatura de Planta			
Soja	0,01(±0,01) ^{ns}	0,03(±0,02) ^{ns}	-0,05(±0,04) ^{ns}
Caruru	0,05(±0,12) ^{ns}	-0,28(±0)*	-0,29(±0,03)*
Total	1,06(±0,11) ^{ns}	0,76(±0,02)*	0,67(±0,02)*
Massa seca da parte aérea			
Soja	-0,07(±0,01)*	0,18(±0,02)*	0,26(±0,04)*
Caruru	-0,20(±0,01)*	-0,38(±0,02)*	-0,46(±0,5)*
Total	0,72 (±0,02)*	0,81(±0,04)*	0,81(±0,06)*
Área foliar			
Soja	-0,06(± 0,02) ^{ns}	0,31(±0,04)*	0,29(±0,04)*
Caruru	-0,21(±0,02)*	-0,34(±0,01)*	-0,40(±0,04)*
Total	0,74(±0,02)*	0,97(±0,06) ^{ns}	0,90(±0,08) ^{ns}

^{ns} Não significativo; * significativo pelo teste t ($p \leq 0,05$). Valores entre parênteses representam os erros padrões das médias.

A variável área foliar (AF) apresentou comportamento similar a MSPA, apresentando a PR da cultura abaixo da linha de tendência hipotética até a proporção 75:25 (soja:caruru), e com o aumento da proporção de caruru, passou a apresentar diferenças estatísticas superiores à linha de tendência hipotética (Figura 20, Tabela 7). Já para a PR da planta daninha, a linha diferiu em todas as proporções, mantendo-se abaixo da linha de tendência hipotética (Figura 20, Tabela 7). A PRT apresentou mesma tendência que a PR da planta daninha, apresentando redução da MSPA total em todas as proporções (Figura 20, Tabela 7).

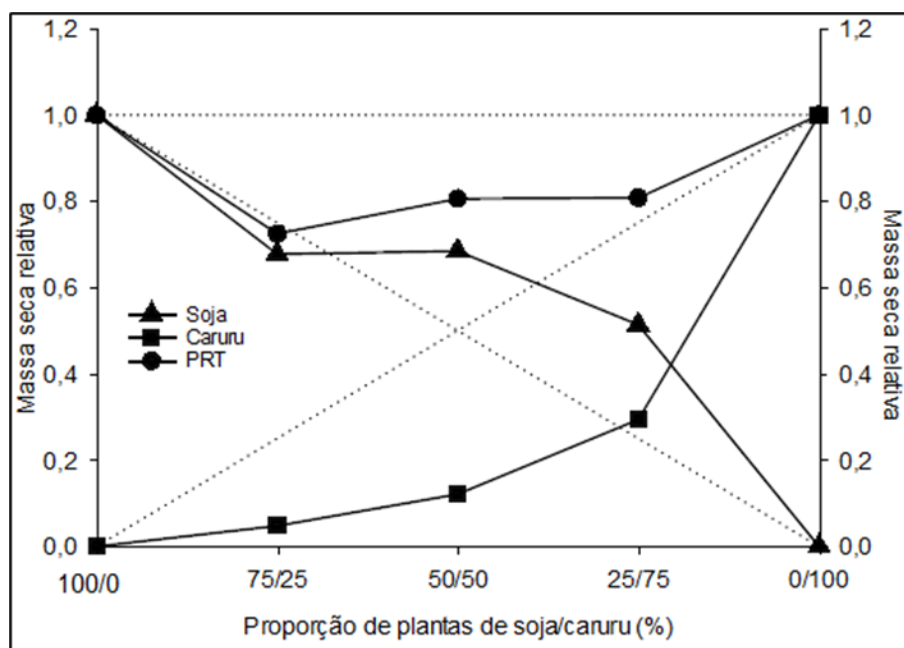


Figura 19. Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para massa seca da parte aérea (MSPA) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeL, Capão do Leão-RS, 2016. Triângulos (▲) representam a PR da soja, quadrados (■) a PR do biótipo de caruru (●) indicam a PRT. Linhas pontilhadas referem-se às produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

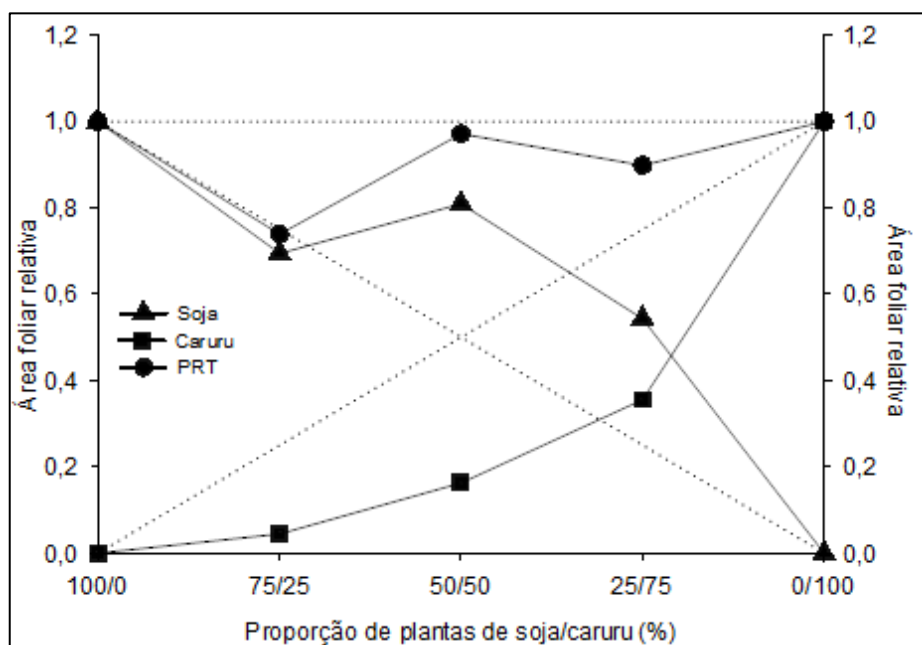


Figura 20. Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para área foliar (AF) de *Amaranthus retroflexus* resistente (BR6) e soja. FAEM/UFPeL, Capão do Leão-RS, 2016. Triângulos (▲) representam a PR da soja, quadrados (■) a PR do biótipo de caruru (●) indicam a PRT. Linhas pontilhadas referem-se às produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

Quando o $PRT > 1$, onde ambos os biótipos testados apresentem valores superiores a reta hipotética, indica que não ocorreu competição pelos recursos. No entanto, apenas na variável estatura de planta, na densidade 75:25 (soja:caruru) observou-se valores de PRT superiores a 1 (Tabela 7), sendo todas as demais variáveis, proporções e épocas com valores de PRT inferiores a 1, mostrando-se que uma das espécies foi mais competitiva que a outra e contribuiu mais que o esperado no rendimento total (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007).

As porcentagens de cada associação para as variáveis EP, MSPA e AF foram agrupadas em médias e foi avaliada a existência de diferenças quando comparado com o monocultivo. Na variável EP, a associação da soja com o caruru não apresentou diferença estatística quando comparada com o monocultivo em nenhuma proporção (Tabela 8). Já para a variável AF, a associação da soja com o caruru apresentou diferença estatística em todas as proporções; para a cultura observou-se redução do monocultivo na proporção 75:25 (soja:caruru), entretanto nas proporções 50:50 e 25:75 (soja:caruru) observou-se aumento da AF em comparação com o monocultivo; para o caruru, observou-se redução à medida que se aumentou a proporção da soja nas associações (Tabela 8). Para a variável MSPA, observou-se comportamento similar da AF, com exceção apenas da cultura na proporção 75:25 (soja:caruru) que não diferiu do monocultivo de soja (Tabela 8). A partir desses resultados pode-se inferir que, quanto mais elevada à proporção do caruru na associação com a soja, maiores foram os danos às variáveis ao caruru. Também pode-se afirmar que para o caruru a competição foi mais prejudicial que o monocultivo.

Através dos índices CR, K e C, que indicam a capacidade de competitividade e supressão de uma espécie em relação a outra, avalia-se que a soja é mais competitiva que *A. retroflexus*, quando $CR > 1$, $K_a > K_b$ e $C > 0$. Considerando que, para que uma espécie seja classificada mais competitiva que outra, deve haver, ao menos, diferença em dois dos índices (BIANCHI; FLECK; LAMEGO, 2006; HOFFMAN; BUHLER, 2002). Observou-se, para todas as variáveis, que a soja apresentou competitividade superior ao biótipo resistente de *A. retroflexus*, tendo em vista que em todas as variáveis o CR foi superior a 1, K_a (soja) $> K_b$ (caruru) e os valores de C foram positivos (Tabela 9).

Tabela 8. Respostas para estatura de planta (EP), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de soja, competindo com caruru, sob diferentes proporções de plantas. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2021.

Espécie	Proporção de plantas associadas (soja:caruru)					C.V. (%)
	100:0	75:25	50:50	25:75	0:100	
Estatura de planta (cm planta ⁻¹)						
Soja	54,17	54,94 ^{ns}	57,80 ^{ns}	44,33 ^{ns}	-	16,14
Caruru	-	26,89 ^{ns}	10,16 ^{ns}	14,09 ^{ns}	22,77	59,03
Área Foliar (cm ² planta ⁻¹)						
Soja	286,66	265,31*	386,49*	622,83*	-	12,19
Caruru	-	35,01*	60,99*	88,22*	196,0	22,15
Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)						
Soja	3,20	2,91 ^{ns}	4,41*	6,62*	-	13,43
Caruru	-	0,26*	0,33*	0,53*	1,35	19,89

^{ns} Não significativo e * significativo em relação ao respectivo monocultivo (100%), pelo teste de Dunnett (p≤0,05). C.V. – Coeficiente de variação.

Tabela 9. Índices de competitividade de soja competindo com caruru, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2021.

	CR	Ka ⁴	Kb ⁵	C
EP ¹	2,39(±0,06)*	1,15(±0,08)*	0,29(±0,01)	0,31(±0,02)*
MSPA ²	5,94(±0,74)*	2,22(±0,23)*	0,14(±0,02)	0,56(±0,01)*
AF ³	5,04(±0,25)*	5,47(±1,97)*	0,19(±0,02)	0,65(±0,03)*

¹ Estatura de planta; ² Massa seca da parte aérea; ³ Área foliar; ⁴Ka - soja; ⁵Kb - caruru; ^{ns} Não significativo e * significativo pelo teste t (p≤0,05). Valores entre parênteses representam os erros padrões das médias.

O resultado obtido neste experimento permite inferir que a soja é mais competitiva que o *A. retroflexus*, onde a competitividade intraespecífica seja mais atuante que a interespecífica. Resultados similares foram observados para *S. microstachyum* (capim-rabo-de-burro) em convivência com a soja (AMARANTE, 2020). Em biótipo de *D. insularis* (capim-amargoso) em associação com soja para as variáveis MSPA, AF e EP (VARGAS, 2019). Como também, para *S. halepense* (capim-massambará), sendo menos competitivo que soja, no entanto, nesse caso, a competitividade foi dependente das variações ambientais onde, em anos com condições mais estressantes, as maiores densidades reduziram a MSPA da cultura (VARGAS, 2019).

A maior competitividade da soja pode ter ocorrido pelo estresse inicial do caruru, que foi transplantado para os vasos, enquanto a soja não passou por esse processo. Outra ressalva é o rápido desenvolvimento e aprisionamento de recursos

pela soja, que se converte em maiores AF e MS (HAEFELE et al., 2004), características que foram introduzidas à cultura pelo melhoramento genético, que se converte em maior produtividade e se sobressai em competição com a planta daninha. No entanto, as plantas daninhas são plantas selecionadas pelo nicho onde habitam e apresentam variabilidade genética, melhor adaptação e ocorrem em altas densidades, o que disfarça a baixa competitividade individual (BIANCHI; FLECK; LAMEGO, 2006).

Em síntese, o estudo de habilidade competitiva, observou-se que a soja foi mais competitiva quando em convivência com o biótipo resistente de *A. retroflexus* (BR6) e pode-se ver que o aumento do número de plantas de *A. retroflexus* foi mais prejudicial à própria planta daninha do que à cultura.

4.4 Conclusão

O biótipo suscetível (BS3) foi superior nas primeiras épocas de avaliações, enquanto o biótipo resistente (BR6) foi superior na última avaliação aos 105 DAT, na maioria das variáveis.

A soja apresentou maior competitividade que o biótipo de caruru resistente (BR6).

A competição intraespecífica para a cultura da soja ou caruru são mais prejudiciais do que a competição interespecífica.

5 CAPÍTULO IV - Controle químico alternativo de *Amaranthus spp.* insensíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

5.1 Introdução

O manejo de plantas daninhas é uma prática inevitável quando se busca manter o potencial produtivo na produção agrícola. As interferências das plantas daninhas sobre a cultura podem ser diretas ou indiretas e seus danos podem ser variados, dependendo da espécie e tamanho da população da planta daninha. As perdas dependem dos manejos realizados na cultura, sendo que locais sem manejos podem comprometer a produtividade em mais de 90% (EMBRAPA, 2021b).

Os métodos de controle de plantas daninhas buscam evitar a entrada de novas espécies e até mesmo a destruição de restos vegetais na pós-colheita. São diversos os métodos conhecidos para impedir a competição da planta daninha com a cultura. No entanto, muitos desses manejos exigem altos investimentos e acabam sendo pouco usados. Entre os métodos mais habituais, o químico é o mais utilizado por sua praticidade e menor custo.

A história do manejo químico é antiga, tendo sido utilizado por muito tempo substâncias químicas para controlar plantas indesejadas, mas o seu uso era eventual, seguidamente ineficiente e sem confirmação científica (SMITH; SECOY, 1976). O primeiro produto sintético para controle seletivo utilizado foi o 2-(1-metilpropil)-4,6-dinitrofenol (Dinoseb), introduzido na França em 1932 (KING, 1966). No entanto, um marco importante se dá em 1941, com o surgimento do herbicida 2,4-D, que inicialmente foi desenvolvido como regulador de crescimento, provando-se, em 1944, a sua capacidade de matar plantas de folhas largas e o seletivo para poaceas. Posteriormente a isso, em pouco mais de meio século, foram descobertas as demais moléculas que temos hoje no mercado, sendo notável o aumento de moléculas desenvolvidas pós segunda guerra mundial.

Atualmente há o registro no MAPA de 1990 produtos, dentre eles, praticamente a metade é herbicida (849) (AGROFIT, 2021). As moléculas herbicidas que apresentam o maior número de produtos registrados são o glyphosate, 2,4-D, atrazine, nicossulfuron e hexazinona (AGROFIT, 2021), onde temos os herbicidas glyphosate, 2,4-D e atrazine, entre os mais utilizados para o controle de plantas daninhas.

Mesmo com a grande variedade de produtos registrados para o controle de plantas daninhas, a escolha do produto é dependente de diversos fatores, como a seletividade para a cultura, plantas daninhas presentes na área, momento da realização da aplicação, persistência no solo, características físico-químicas do solo, preparo do solo, tipo de cultivo, disponibilidade de produto e custo para o produtor (MENDES; DIAS; INOUE, 2015). Fatores que restringem a utilização de algumas moléculas de herbicidas, dependendo da cultura utilizada, o que acarreta, em muitos casos, o uso repetido do mesmo mecanismo de ação ou o mesmo herbicida.

O uso contínuo de um herbicida isolado por diversos anos, sem rotação de herbicidas e/ou mecanismos de ação, pode levar a seleção de biótipos resistentes à esses produtos. O surgimento de biótipos resistentes à herbicidas é influenciado por fatores genéticos, agronômicos e biotecnológicos. O fator genético é relativo às características dos biótipos da população e estão associados à frequência inicial da resistência, dominância alélica da resistência, número de alelos, tipo de fecundação e adaptação ecológica (MONQUEIRO; CHRISTOFFOLETI, 2001).

O fator agronômico é o produto da seleção causada pelas práticas agrícolas, tendo como exemplo, o manejo de solo; características, e restrições de utilização do herbicida; grupo químico; residual do produto; doses utilizadas; práticas culturais; frequência de aplicação; e sistemas de cultivos (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Por sua vez, os fatores biotecnológicos são resultados da interação do biótipo com o nicho, como a longevidade das sementes no banco de sementes, número de gerações por ano, taxa reprodutiva, densidade populacional e suscetibilidade da planta daninha a herbicidas (VARGAS, 2014). De modo geral, a interação desses fatores define a velocidade (número de anos) de surgimento de novos biótipos resistentes.

Recentemente foram descobertos biótipos de *Amaranthus* spp. resistentes aos inibidores da EPSPs e ALS em campos de soja no Rio Grande do Sul. Quando

são descobertos novos casos de resistência é inevitável a busca de novas alternativas no manejo químico. Em outras palavras, tem-se a procura por herbicidas de diferentes mecanismos de ação que apresentem controle eficiente para esses biótipos.

Nesse sentido, o trabalho teve como hipótese que os biótipos de *Amaranthus* spp. insensíveis aos inibidores da EPSPs e ALS são suscetíveis à herbicidas de outros mecanismos de ação. Assim, o objetivo do estudo foi encontrar herbicidas alternativos que poderão ser utilizados no controle dos biótipos de *Amaranthus* spp. insensíveis aos inibidores da EPSPs e ALS.

5.2 Material e Métodos

Foram realizados três experimentos de controle em pós-emergência e um experimento de pré-emergência. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, na Faculdade de Agronomia Elizeu Maciel (FAEM/UFPel), no município de Capão do Leão-RS. Para a implantação dos experimentos, foi realizada a superação da dormência das sementes de caruru, utilizando escarificação com lixa grossa e embebidas em solução de ácido giberélico (3 mmol), durante três dias em câmara BOD com fotoperíodo de 16h dia e 8h noite, em temperaturas de 35°C dia e 30°C noite. Posteriormente as sementes foram semeadas em bandejas para produção de mudas e transplantadas para copos de 750mL preenchidos com solo, com exceção do experimento de pré-emergência onde realizou-se semeadura diretamente no solo, em vasos de 415 mL, cobrindo-as com fina camada de solo.

As avaliações de controle ocorreram aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) dos experimentos de pós-emergência; e 14, 21 e 28 DAA do experimento de pré-emergência, correspondendo a 9, 16 e 22 dias após a emergência (DAE), as quais constituíram-se de avaliação visual atribuindo-se valores percentuais (0 a 100%), onde 0% significava planta com ausência de injúrias e 100% plantas mortas (SBCPD, 1995). Aos 28 DAA, coletou-se a parte aérea das plantas para determinar a massa seca (MSPA) através da pesagem em balança analítica, e após foi feita a estabilização da massa da parte aérea das plantas secas em estufa de circulação de ar a 60 °C.

Os resultados de controle e MSPA foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk), sendo posteriormente submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), havendo significância, as médias foram comparados pelo teste Scott Knott ($p \leq 0,05$).

5.2.1 Controle alternativo na pós-emergência de biótipos de *Amaranthus* spp. insensíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

A condução deu-se entre os meses de janeiro a março de 2020. O experimento consistiu em avaliar o controle de dois biótipos de caruru na pós-emergência, sendo biótipos provenientes de Dom Pedrito-RS e Pedro Osório-RS. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo arranjado em esquema fatorial 2x7, tendo como primeiro fator dois biótipos de caruru (Dom Pedrito (BR6) e Pedro Osório (PO)) e o segundo fator constituído de sete tratamentos (testemunha sem herbicida, 2,4-D (DMA 806, 1,5 L ha⁻¹), dicamba (Atectra, 1,5 L ha⁻¹), saflufenacil (Heat®, 50,0 g ha⁻¹), fomesafen (Flex®, 1,0 L ha⁻¹ + 0,05 v/v óleo vegetal), atrazine (Primóleo®, 6,0 L ha⁻¹) e glufosinate e (Finale®, 2,5 L ha⁻¹ + 0,02 v/v Agral®)). A aplicação dos tratamentos com herbicidas foi realizada quando as plantas estavam em estágio de 4 a 6 folhas, com a utilização de pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com barra com quatro pontas espaçadas em 50 cm e volume de calda de 150 L ha⁻¹.

5.2.2 Controle alternativo na pós-emergência de biótipos de *Amaranthus* sp. insensíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr em três estádios de desenvolvimento

Durante os meses de janeiro e março de 2020 realizou o experimento que avaliou o controle na pós-emergência de biótipo de *Amaranthus* sp. oriundo do município de Pedro Osório-RS em três estádios de desenvolvimento. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo arranjado em esquema fatorial 3X8, tendo como primeiro fator os três estádios de desenvolvimento do biótipo de caruru (estádio 1 (2 cm ± 1,5), estágio 2 (9,5 cm ± 2), estágio 3 (17 cm ± 2)); e o segundo fator constituído de nove tratamentos (testemunha sem herbicida, 2,4-D (DMA 806, 1,5 L ha⁻¹), dicamba (Atectra®, 1,5 L ha⁻¹), saflufenacil (Heat®, 50 g ha⁻¹), fomesafen (Flex®, 1,0 L ha⁻¹ + 0,05 v/v óleo vegetal), atrazine (Primóleo®, 6,0 L ha⁻¹), glufosinate (Finale®, 2,5 L ha⁻¹ + 0,02 v/v Agral®) e mesotriona (Callisto®, 0,3 L ha⁻¹)). O equipamento, estágio de aplicação e o volume de calda foram idênticos ao descrito no primeiro experimento deste capítulo.

5.2.3 Controle alternativo de *A. retroflexus* na Pós-Emergência de dois biótipos resistentes e um suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

Entre os meses de dezembro de 2020 e fevereiro de 2021 realizou o experimento de controle na pós-emergência dos biótipos utilizados no capítulo de curva dose-resposta (Capítulo II) provenientes do município de Dom Pedrito-RS. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo arranjado em esquema fatorial 3x8, tendo como primeiro fator composto por três biótipos de caruru (BS3, BR6 e BR3) e o segundo fator constituído de oito tratamentos de controle (testemunha sem herbicida, 2,4-D (U 46, 1,0 L ha⁻¹ + 0,2 v/v Aureo®), dicamba (Atectra®, 1,0 L ha⁻¹), saflufenacil (Heat® 42,5 g ha⁻¹ + 1 v/v Agral®), fomesafen (Flex®, 1,0 L ha⁻¹ + 0,5 v/v Veget Oil®), atrazine (Primóleo®, 5,5 L ha⁻¹), glufosinate (Finale®, 2,5 L ha⁻¹+0,02 v/v Agral®) e mesotriona (Callisto®, 0,3 L ha⁻¹+ 0,5 v/v Nimbus®)). O equipamento, estágio de aplicação e o volume de calda foram idênticos ao descrito no primeiro experimento deste capítulo.

5.2.4 Controle alternativo na pré-emergência de biótipos de *A. retroflexus* resistentes os herbicidas glyphosate e imazethapyr

O experimento foi conduzido durante os meses de fevereiro e março de 2021 com o biótipo de caruru de Dom Pedrito-RS (BR6). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições.

Os tratamentos constituíam-se de uma testemunha sem herbicida, s-metalachlor (Dual Gold®, 2,0 L ha⁻¹), pedimentalim (Herbadox®, 3,0 L ha⁻¹), metribuzim (Sencor®, 1,0 L ha⁻¹), atrazine (Primóleo®, 5,5 L ha⁻¹), trifluralin (Trifluralina Nortox®, 1,2 L ha⁻¹), clomazone (Clomazone 500 EC®, 1,6 L ha⁻¹) e sulfentrazone (Alia®, 1,2 L ha⁻¹). O equipamento e o volume de calda foram idênticos ao descrito no primeiro experimento deste capítulo, sendo realizada a aplicação no dia seguinte da semeadura.

5.3 Resultados e Discussão

Os resultados e discussão serão apresentados seguindo a mesma sequência apresentados no material e métodos.

5.3.1 Controle alternativo na pós-emergência de biótipos de *Amaranthus* spp. insensíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr

Quando comparada a diferença de suscetibilidade entre os biótipos, observou-se diferença significativa apenas aos 7 DAA para o herbicida 2,4-D (Tabela 10). Na avaliação entre tratamentos para cada biótipo, aos 7 DAA, verificou-se os melhores controles com os herbicidas atrazine e saflufenacil no biótipo de Dom Pedrito e saflufenacil no biótipo de Pedro Osório.

Nas avaliações realizadas aos 14, 21 e 28 DAA as médias de controle ficaram acima de 90%, para ambos os biótipos em todos os tratamentos com herbicidas, diferenciando-se estatisticamente apenas no biótipo de Dom Pedrito para o herbicida fomesafen aos 28 DAA (Tabela 10). Estes resultados demonstram que todos os herbicidas testados podem ser utilizados como alternativas de controle nos biótipos cujos os herbicidas glyphosate e imazethapyr apresentam falhas de controle.

Em estudo que buscou avaliar o controle de dois biótipos de *A. híbridos*, relataram que o biótipo Tapurah-MT, com plantas em estágio de 4 a 6 folhas foram controladas em 98,3% quando utilizado glufosinate, corroborando com o resultado encontrado nesse trabalho. No entanto, quando utilizado atrazine (86,3%) e fomesafen (94,8%), o controle apresentou redução significativa comparado com o glufosinate, mas com valores satisfatórios de controle, diferença essa observada apenas neste trabalho para o fomesafen no biótipo de Dom Pedrito. Já o biótipo de Ipiranga do Norte-MT apresentou controle de 100% tanto para a atrazine quanto para o glufosinate, havendo redução significativa apenas para o fomesafen (91,3%) (GONÇALVES NETO, 2017). Os dados indicam que os biótipos da mesma espécie podem apresentar diferenças de suscetibilidade ao mesmo herbicida, isso pode ocorrer pela diferença de ambientes onde vivem e as condições em que são expostos, como também, a associação de métodos de controle e de herbicidas utilizados em cada área, causando seleções evolutivas diferenciadas.

Tabela 10. Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de dois biótipos de *Amaranthus* spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e Dom Pedrito, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPeL, Capão do Leão-RS, 2020.

CONTROLE 7 DAA				
TRATAMENTOS	Pedro Osório		Dom Pedrito	
Testemunha	0,00	B a	0,00	C a
Saflufenacil	98,75	A a	97,50	A a
Atrazine	97,75	A a	94,75	A a
Fomesafen	96,75	A a	94,00	A a
Dicamba	90,00	A a	84,00	A a
Glufosinate	88,25	A a	93,75	A a
2,4-D	91,00	A a	75,25	B a
CV%	4,71			
CONTROLE 14 DAA				
	Pedro Osório		Dom Pedrito	
Testemunha	0,00	B a	0,00	B a
Saflufenacil	100	A a	100	A a
Atrazine	100	A a	100	A a
Fomesafen	95,50	A a	95,25	A a
Dicamba	100	A a	99,50	A a
Glufosinate	94,25	A a	96,50	A a
2,4-D	99,75	A a	95,75	A a
CV%	4,66			
CONTROLE 21 DAA				
	Pedro Osório		Dom Pedrito	
Testemunha	0,00	B a	0,00	B a
Saflufenacil	100	A a	100	A a
Atrazine	100	A a	100	A a
Fomesafen	95,50	A a	95,75	A a
Dicamba	100	A a	100	A a
Glufosinate	96,50	A a	97,75	A a
2,4-D	100	A a	99,50	A a
CV%	4,63			
CONTROLE 28 DAA				
	Pedro Osório		Dom Pedrito	
Testemunha	0,00	B a	0,00	C a
Saflufenacil	100	A a	100	A a
Atrazine	100	A a	100	A a
Fomesafen	96,00	A a	90,00	B a
Dicamba	100	A a	100	A a
Glufosinate	100	A a	96,50	A a
2,4-D	100	A a	100	A a
CV%	4,67			

* Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada biótipo, e minúscula na linha comparando os biótipos dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$). ns Não significativo.

Os dados observados para a MS corroboram com as médias de controle descritas anteriormente, onde não foram observadas diferenças significativas entre biótipos para nenhum dos tratamentos que distinguiram somente da testemunha e não diferiram entre si (Tabela 11). Ainda, a redução de MS observada variou de 83,14 a

96% com relação à testemunha. Estes resultados corroboram com os analisados por GONÇALVES NETO (2017), os quais não observaram diferenças entre os dois biótipos estudados para os herbicidas fomesafen, glufosinate e atrazine.

Tabela 11. Massa seca da parte aérea (g) de dois biótipos de *Amaranthus* spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e Dom Pedrito, aos 28 DAA. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020.

TRATAMENTOS	MASSA SECA	
	Pedro Osório	Dom Pedrito
Testemunha	4,050 B	4,816 B
Fomesafen	0,222 A	0,612 A
Glufosinate	0,440 A	0,230 A
Atrazine	0,250 A	0,325 A
Saflufenacil	0,225 A	0,225 A
2,4-D	0,162 A	0,450 A
Dicamba	0,162 A	0,335 A
CV%	19,02	

* Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada biótipo, e minúscula na linha comparando os biótipos dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

5.3.2 Controle alternativo na pós-emergência de biótipos de *Amaranthus* sp. insensíveis aos herbicidas glyphosate e imazethapyr em três estádios de desenvolvimento

Os estádios com maiores estaturas apresentaram as menores notas de controle, na maioria dos herbicidas, com exceção apenas do dicamba, que foi o único herbicida que não apresentou diferença significativa entre os biótipos em nenhuma das avaliações de controle.

Na primeira avaliação, o estágio 1 obteve as maiores notas de controle, apresentando notas superiores a 90% para todos os herbicidas testados, diferindo-se apenas da testemunha (Tabela 12). O estágio 2 e 3 o dicamba apresentou controle superior aos demais tratamentos, e o fomesafen se diferenciou com as menores notas de controle dos tratamentos com herbicidas. Contudo, todos os herbicidas apresentaram controle significativamente superior à testemunha.

Tabela 12. Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de biótipo de *Amaranthus* spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório, em três estágios de desenvolvimento, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPeI, Capão do Leão-RS, 2020.

Capas do Leão RS, 2020						
CONTROLE 7 DAA						
TRATAMENTOS	Estádio 1 (2 cm ± 1,5)		Estádio 2 (9,5 cm ± 2)		Estádio 3 (17 cm ± 2)	
Testemunha	0,00	B a	0,00	D a	0,00	E a
Dicamba	91,00	A a	93,00	A a	90,50	A a
Saflufenacil	100	A a	83,75	B b	80,50	B b
2,4-D	92,25	A a	75,00	B c	83,25	B b
Atrazine	99,50	A a	81,00	B b	81,75	B b
Glufosinate	93,25	A a	79,50	B b	61,75	C c
Fomesafen	99,25	A a	74,50	B b	57,00	C b
Mesotriona	90,75	A a	54,50	C b	43,00	D c
CV%	10,61					
CONTROLE 14 DAA						
TRATAMENTOS	Estádio 1 (2 cm ± 1,5)		Estádio 2 (9,5 cm ± 2)		Estádio 3 (17 cm ± 2)	
Testemunha	0,00	B a	0,00	E a	0,00	E a
Dicamba	99,50	A a	96,50	A a	96,00	A a
Saflufenacil	100	A a	82,00	B b	71,25	B b
2,4-D	98,50	A a	97,50	A a	96,00	A a
Atrazine	100	A a	98,50	A a	99,00	A a
Glufosinate	99,25	A a	76,00	C a	44,00	D a
Fomesafen	100,00	A a	70,50	C b	51,25	C c
Mesotriona	99,75	A a	49,25	D b	45,75	D b
CV%	50,02					
CONTROLE 21 DAA						
TRATAMENTOS	Estádio 1 (2 cm ± 1,5)		Estádio 2 (9,5 cm ± 2)		Estádio 3 (17 cm ± 2)	
Testemunha	0,00	B a	0,00	E a	0,00	D a
Dicamba	100	A a	100	A a	99,75	A a
Saflufenacil	99,75	A a	85,50	B a	72,25	B b
2,4-D	100	A a	99,75	A a	99,75	A a
Atrazine	100	A a	100	A a	99,75	A a
Glufosinate	99,75	A a	80,00	B a	40,75	C b
Fomesafen	99,75	A a	74,00	C b	45,00	C c
Mesotriona	99,75	A a	59,00	D b	42,75	C b
CV%	49,43					
CONTROLE 28 DAA						
TRATAMENTOS	Estádio 1 (2 cm ± 1,5)		Estádio 2 (9,5 cm ± 2)		Estádio 3 (17 cm ± 2)	
Testemunha	0,00	B a	0,00	D a	0,00	D a
Dicamba	100	A a	100	A a	99,75	A a
Saflufenacil	100	A a	89,50	A a	46,00	B b
2,4-D	100	A a	99,75	A a	99,75	A a
Atrazine	100	A a	100	A a	99,75	A a
Glufosinate	100	A a	84,50	C b	36,25	C c
Fomesafen	100	A a	73,75	C b	45,50	B c
Mesotriona	99,75	A a	77,75	C b	46,25	B c
CV%	47,92					

*Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada estágio, e minúscula na linha comparando o estágio dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo.

Na avaliação aos 28 DAA, o estágio 1 apresentou as maiores notas de controle, não observando redução significativa de controle para nenhum herbicida testado; já no estágio 2 e 3 para os herbicidas fomesafen, glufosinate e mesotriona; e no estágio 3 para o herbicida saflufenacil em comparação ao estágio 1. No estágio 3, observou-se maiores reduções, quando comparado como estágio 2 nos herbicidas fomesafen, glufosinate, saflufenacil e mesotriona.

No estágio 1, as médias de controle nas avaliações aos 7, 14, 21 e 28 DAA apresentaram controle superior aos 90% em todos os tratamentos com herbicida, diferenciando-se apenas da testemunha (Tabela 12). Já os estádios 2 e 3 apresentou diferenças estatísticas de suscetibilidade durante as avaliações, onde os herbicidas atrazine, 2,4-D e dicamba apresentaram as maiores médias de controle. A testemunha diferiu-se de todos os tratamentos com herbicidas nos três estádios, independente da avaliação.

Por apresentarem estádios diferentes, as plantas apresentavam portes diferentes, o que sugere, que mesmo quando houve a morte da planta, a MS poderia apresentar diferenças significativas entre os estádios avaliados (Tabela 13). Corroborando com o resultado esperado, a grande maioria apresentou diferenças significativas entre os estádios, com exceção apenas da mesotriona que não observou diferença entre o estágio 1 e 2.

Tabela 13. Massa seca da parte aérea (g) de dois biótipos de *Amaranthus* spp. com falhas de controle aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município de Pedro Osório e outro de Dom Pedrito, aos 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2020.

TRATAMENTOS	MASSA SECA					
	Estádio 1 (2 cm $\pm$ 1,5)		Estádio 2 (9,5 cm $\pm$ 2)		Estádio 3 (17 cm $\pm$ 2)	
Testemunha	1,982	D a	3,122	D b	6,55	D c
Glufosinate	0,033	A a	1,365	C b	3,747	C c
Atrazine	0,015	A a	0,515	A b	1,010	A c
Saflufenacil	0,047	A a	0,877	B b	2,657	C c
Dicamba	0,067	A a	0,832	B b	1,913	B c
2,4-D	0,105	B a	0,875	B b	1,665	B c
Fomesafen	0,120	B a	1,111	C b	2,845	C c
Mesotriona	0,427	C a	0,922	B a	1,717	B d
CV%	68,56					

*Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada estágio, e minúscula na linha comparando o estágio dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo.

O herbicida atrazine destacou-se no controle dos três biótipos, apresentando as maiores reduções de MS. Além da atrazine (99,24%), o glufosinate e (98,33%), saflufenacil (97,63%) e dicamba (96,62%), tiveram as menores médias no estágio 1. No biótipo 2 e 3, as maiores reduções foram observadas no tratamento com atrazine (83,50 e 84,58%, respectivamente). Quando comparados com a testemunha, todos os tratamentos com herbicidas apresentaram redução, indiferente do estágio.

A literatura ressalta que o manejo químico em espécies de carurus deve ser realizado nos primeiros estádios de desenvolvimento, de preferência com 2 a 4 folhas e com, no máximo, 5 cm de altura (GONÇALVES NETTO et al., 2018). A eficiência de controle decai com o desenvolvimento da planta, visto que a realização de aplicação em plantas com mais de 8 cm pode resultar em níveis de controle insatisfatórios (JORDAN; YORK, 2010). Resultado que foi observado neste trabalho, onde houve redução de controle no biótipo 2 e 3, que apresentavam estatura superior a 7,5 cm. Outro ponto que podemos ressaltar é a redução de controle de fomesafen e saflufenacil, que são herbicidas de contato e apresentam baixa translocação, evidenciando mais a redução de controle em aplicações fora do estágio recomendado.

Com relação ao glufosinate, se trata de um ácido fraco que apresenta alta solubilidade em água, facilitando a entrada da molécula do herbicida no xilema e floema e, conseqüentemente, a translocação na planta. No entanto, esse herbicida age rapidamente, inibindo a fotossíntese e produzindo agentes tóxicos que comprometem a integridade das células, limitando a translocação. Esses efeitos se tornam fatores restritivos para o controle de plantas fora do estágio recomendado (ROMAN et al. 2005), o que pode ter comprometido a eficácia de controle principalmente no estágio 3.

Já para o mesotriona, esse herbicida atua apenas em tecidos jovens e pouco interfere em tecidos já estabelecidos, o que pode ter impedido a eficácia de controle nos estádios 2 e 3. Observou-se neste estudo que o aumento do desenvolvimento reduziu o controle com o herbicida mesotriona.

5.3.3 Controle alternativo na pós-emergência de dois biótipos resistentes e um suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr de *Amaranthus retroflexus*

Os biótipos de caruru do município de Dom Pedrito, utilizados para a construção das curvas dose-resposta (BS3, BR6 e BR3) (capítulo II), foram testados

com diversos herbicidas recomendados para o controle do gênero *Amaranthus*, com o intuito de encontrar alternativas de controle químico (Tabela 14). Observou-se diferenças de suscetibilidade entre os biótipos avaliados (Tabela 14). O biótipo suscetível (BS3) apresentou redução de controle na maioria das avaliações para o herbicida fomesafen.

Na primeira avaliação (7DAA), os melhores controles foram observados quando se utilizou os tratamentos com atrazine, saflufenacil, mesotriona e dicamba, para todos os biótipos; glufosinate e 2,4-D apenas para os biótipos resistentes (BR6 e BR3) (Tabela 14). O controle aumentou nas avaliações seguintes, alcançando valores próximos a 100% na última avaliação, quando utilizados os tratamentos com atrazine, saflufenacil, 2,4-D e dicamba, para todos os biótipos; e glufosinate e mesotriona para os biótipos resistentes (BR6 e BR3).

A avaliação de MS identificou diferenças entre os biótipos para o herbicida fomesafen e a testemunha (Tabela 15). No tratamento com fomesafen, observou-se que o biótipo BR6 apresentou a menor redução de MS. Já para a testemunha, observou-se que o biótipo BR6 apresentou menor massa comparada com os demais biótipos, fato que pode ter contribuído para o alcance de melhores notas de controle, em relação aos demais biótipos.

Para o biótipo suscetível BS3, observou-se menor redução de MSPA para os tratamentos com fomesafen, 2,4-D e dicamba; já para os biótipos resistentes (BR6 e BR3), identificou-se reduções amenas no tratamento com fomesafen apenas para o biótipo BR6.

Tabela 14. Controle (%) químico alternativo na pós-emergência de três biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistentes aos herbicidas Glyphosate e Imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 7, 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.

CONTROLE 7 DAA						
TRATAMENTOS	BS3		BR6		BR3	
Testemunha	0,00	E a	0,00	D a	0,00	E a
Atrazine	97,50	A a	95,50	A a	97,00	A a
Saflufenacil	98,75	A a	99,00	A a	99,00	A a
Mesotriona	83,00	B a	88,25	B a	84,00	B a
Dicamba	85,25	B a	78,00	C a	80,50	B a
2,4-D	72,75	C a	88,25	B a	77,75	C a
Glufosinate	70,25	C b	94,75	A a	95,00	A a
Fomesafen	40,75	D b	61,00	C a	67,75	D a
CV%	24,11					
CONTROLE 14 DAA						
TRATAMENTOS	BS3		BR6		BR3	
Testemunha	0,00	E a	0,00	E a	0,00	D a
Atrazine	97,50	A a	95,50	A a	97,00	A a
Saflufenacil	98,75	A a	99,00	A a	99,00	A a
Mesotriona	83,00	B a	88,25	B a	84,00	B a
Dicamba	85,25	B a	78,00	C a	80,50	B a
2,4-D	92,75	A a	88,25	B a	87,75	B a
Glufosinate	70,25	C b	94,75	B a	95,00	A a
Fomesafen	40,75	D b	61,00	D a	67,75	C a
CV%	22,20					
CONTROLE 21 DAA						
TRATAMENTOS	BS3		BR6		BR3	
Testemunha	0,00	E a	0,00	C a	0,00	C a
Atrazine	100	A a	100	A a	100	A a
Saflufenacil	99,25	A a	100	A a	100	A a
Mesotriona	88,75	B a	99,00	A a	96,75	A a
Dicamba	99,50	A a	99,25	A a	99,50	A a
2,4-D	99,25	A a	99,75	A a	99,50	A a
Glufosinate	73,00	C a	99,00	A a	99,00	A a
Fomesafen	39,50	D b	51,00	B a	67,25	B a
CV%	22,61					
CONTROLE 28 DAA						
TRATAMENTOS	BS3		BR6		BR3	
Testemunha	0,00	E a	0,00	C b	0,00	C a
Atrazine	100	A a	100	A a	100	A a
Saflufenacil	100	A a	100	A a	100	A a
Mesotriona	88,25	B a	99,00	A a	100	A a
Dicamba	100	A a	100	A a	100	A a
2,4-D	100	A a	100	A a	100	A a
Glufosinate	70,75	C b	100	A a	100	A a
Fomesafen	34,50	D b	56,00	B a	68,25	B a
CV%	21,46					

*Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada biótipo, e minúscula na linha comparando os biótipos dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo.

Tabela 15. Massa seca da parte aérea (g) de três biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistentes aos herbicidas glyphosate e imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.

TRATAMENTOS	MASSA SECA					
	BS3		BR6		BR3	
Testemunha	2,765	C b	2,177	C a	2,592	B b
Atrazine	0,215	A a	0,227	A a	0,172	A a
Saflufenacil	0,157	A a	0,162	A a	0,155	A a
Mesotriona	0,217	A a	0,305	A a	0,217	A a
Dicamba	0,410	B a	0,307	A a	0,292	A a
2,4-D	0,417	B a	0,285	A a	0,397	A a
Glufosinate	0,320	A a	0,217	A a	0,197	A a
Fomesafen	0,535	B a	1,045	B b	0,490	A a
CV%						39,96

* Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada biótipo, e minúscula na linha comparando os biótipos dentro de cada herbicida, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo.

5.3.4 Controle alternativo na pré-emergência de dois biótipos resistentes e um suscetível aos herbicidas glyphosate e imazethapyr de *Amaranthus retroflexus*

Os resultados de controle na pré-emergência do biótipo de *A. retroflexus* (BR6), proveniente do município de Dom Pedrito-RS, estão apresentados na tabela 16. Pode-se observar que o herbicida clomazona apresentou redução significativa de controle, quando comparado com

os demais tratamentos com herbicidas, desde a primeira avaliação aos 14 DAA, chegando aos 66,40% de controle aos 28 DAA. Os demais herbicidas apresentaram controles superiores a 90% em todas as avaliações.

O herbicida clomazona é um herbicida com pouca eficácia no controle de espécies de caruru, podendo ser inferior a 50%, desempenho que foi comprovado nos resultados encontrados nesse trabalho, onde esse herbicida apresentou as menores notas de controle na pré-emergência (LORENZI, 2014). Os demais herbicidas testados apresentam alta eficiência de controle para espécies de caruru, o que pode ser visto neste trabalho, onde obtiveram mais de 90% de controle.

Tabela 16. Controle (%) químico alternativo na pré-emergência de um biótipo de *Amaranthus retroflexus* (BR6) resistente aos herbicidas Glyphosate e Imazethapyr, proveniente do município Dom Pedrito-RS, aos 14, 21 e 28 DAA. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2021.

CONTROLE PRÉ-EMERGENTE			
TRATAMENTOS	14DAA	21DAA	28DAA
Testemunha	0,00 D	0,00 C	0,00 C
Trifluralina	100 A	100 A	100 A
Metribuzin	100 A	100 A	100 A
Sulfentrazona	100 A	100 A	100 A
Atrazine	93,00 A	100 A	100 A
Pendimethalin	93,00 A	97,00 A	100 A
S-metalachlor	92,00 B	98,00 A	97,00 A
Clomazona	82,00 C	72,00 B	66,40 B
CV%	9,31	8,15	4,54

* Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na coluna, comparando os herbicidas dentro de cada avaliação, não diferem pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

A utilização de pré-emergentes é uma ferramenta muito importante no controle de espécies de caruru, favorecendo o estabelecimento da cultura diante da competitividade e podendo reduzir as aplicações na pós-emergência, em alguns casos. A atividade residual desses produtos controla os primeiros fluxos germinativos, permitindo que a cultura se desenvolva em ambiente livre de plantas daninhas, tendo em vista a importância de estar com a lavoura limpa em um momento crucial para a consolidação da cultura.

Outra prática que pode ser utilizado com os herbicidas pré-emergentes é a aplicação desses produtos sequencialmente, visando a sobreposição do residual. A estratégia consiste na aplicação de um herbicida residual, e antes que o residual acabe, seja realizado a aplicação de um novo herbicida, impedindo que ocorra fluxo de emergência. Essa modalidade de aplicação, também conhecida por *overlapping*, é utilizada com sucesso na Argentina e nos Estados Unidos e permite que o solo fique livre de plantas daninhas por maior tempo. (CHAHAL; GANIE; JHALA, 2018).

Para a cultura do milho, são mais amplas as possibilidades de rotação de herbicidas e mecanismos de ação em áreas infestadas de carurus, com falhas de controle dos herbicidas glyphosate e imazethapyr. Existindo a possibilidade de utilizar pré-emergentes pertencentes aos inibidores da síntese dos ácidos graxos de cadeia longa, com associação de inibidores do FII e HPPD, na pós-emergência, e podendo utilizar o herbicida glufosinate em cultivos de milho tolerante a esse herbicida, sendo mais uma alternativa viável. Por outro lado, o cenário é totalmente outro quando o cultivo passa a ser soja. Nesse caso, as alternativas são limitadas principalmente na

pós-emergência, onde o controle se baseia essencialmente aos herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase. No entanto, há relatos de intoxicação da cultura da soja com a utilização desses herbicidas.

Herbicidas auxínicos podem ser utilizados na dessecação pré-semeadura, tomando os devidos cuidados com o intervalo de plantio da soja, que pode variar de 7 a 28 dias após a dessecação, período em que há dependência das condições climáticas (LEGLEITHER; JONHSON, 2013).

Para aumentar as alternativas de controle na pós-emergência da soja tem-se a opção de utilizar materiais tolerantes ao glufosinate e com o advento das tecnologias Enlist® (2,4 D, glifosato e glufosinate) e Intacta 2Xtend® (dicamba e glifosato) se possibilita a utilização dos herbicidas auxínicos dentro da cultura.

Para a cultura do milho, os herbicidas atrazine, isoxaflutole e s-metolachlor podem ser utilizados na pré-emergência, enquanto 2,4-D, atrazine, glufosinate, mesotriona, tembotriona e saflufenacil podem ser utilizados na pós-emergência. Dentre esses produtos, com os experimentos realizados nesse trabalho podemos confirmar a eficácia dos herbicidas s-metolachlor e atrazine na pré-emergência, e 2,4-D, atrazine, glufosinate, mesotriona e saflufenacil na pós-emergência, sendo alternativas de controle dos biótipos de Pedro Osório e Dom Pedrito.

Já para a cultura da soja, os herbicidas clomazona, flumioxazin, metribizin, pendimethalin, sulfentrazone, s-metolachlor e trifluralina podem ser utilizados na pré-emergência da cultura. Enquanto os herbicidas 2,4-D, dicamba, glufosinate, fomesafen, lactofen e saflufenacil são algumas alternativas de controle na pós-emergência. Alguns produtos apresentam controles insatisfatórios, mesmo sendo indicados para a planta daninha e cultura, como foi o caso do clomazona na pré-emergência e o fomesafen em alguns biótipos na pós-emergência. No entanto, entre os produtos testados neste trabalho, podemos confirmar a eficácia dos herbicidas metribizin, pendimethalin, sulfentrazone, s-metolachlor e trifluralina para a pré-emergência, e 2,4-D, dicamba, glufosinate e (em alguns biótipos), fomesafen (em alguns biótipos) e saflufenacil na pós-emergência.

Não podemos deixar de ressaltar que a utilização de glyphosate e imazethapyr deve ser mantida na rotação de herbicidas, logo que há presença de outras espécies de plantas daninhas e biótipos de caruru suscetíveis à esses herbicidas.

5.4 Conclusão

Os herbicidas fomesafen, glufosinate, atrazine, saflufenacil, 2,4-D e dicamba foram eficazes no controle dos biótipos de *Amaranthus* spp. de Pedro Osório e Dom Pedrito na pós-emergência e podem ser recomendados para o controle alternativos desses biótipos.

O aumento da estatura das plântulas de *Amaranthus* sp. não afetou a eficiência dos herbicidas atrazine, 2,4-D e dicamba, podendo ser utilizada no controle de plantas de até 19 cm.

O aumento da estatura das plântulas de *Amaranthus* sp. afetou a eficiência dos herbicidas fomesafen, glufosinate, saflufenacil e mesotriona. Sendo que o saflufenacil apresentou redução no controle apenas no estágio 3.

O biótipo BS3 de Pedro Osório apresentou menor sensibilidade aos herbicidas fomesafen e glufosinate.

Os herbicidas atrazine, saflufenacil, mesotriona, 2,4-D e dicamba foram eficientes no controle dos biótipos de Pedro Osório e podem serem recomendados como alternativas de controle destes biótipos.

Os herbicidas pré-emergentes s-metolachlor, pedimenthalin, atrazine, trifluralina, metribuzin e sulfentrazone foram eficientes no controle do biótipo de Pedro Osório (BR6) e podem serem recomendados como alternativas de controle deste biótipo.

6 Considerações Finais

Os resultados confirmaram a ocorrência de falhas de controle quando se utilizou os herbicidas glyphosate, chlorimuron e fomesafen, até mesmo aplicando o dobro da dose recomendada em bula, sugerindo a existência de biótipos resistentes, com indícios de resistência múltipla em alguns casos, nas lavouras de soja do Estado do Rio Grande do Sul. Já para os herbicidas glufosinate e 2,4-D, não observou-se redução na suscetibilidade dos biótipos de caruru em nenhuma das doses.

Há biótipos de *A. retroflexus* (BR6 e BR3) provenientes do município de Dom Pedrito-RS com resistência múltipla aos herbicidas glyphosate e imazethapyr.

O biótipo suscetível (BS3) apresenta desenvolvimento superior nos primeiros estádios de desenvolvimento, enquanto o biótipo resistente (BR6) foi superior na maioria das variáveis na última avaliação, aos 105 DAT.

Competitivamente, a soja se sobressaiu ao biótipo de *A. retroflexus* resistente (BR6). Constatando que a interação intraespecífica para a cultura da soja ou para o caruru foi mais prejudicial do que a competição interespecífica.

Os herbicidas atrazine, saflufenacil, mesotriona, 2,4-D e dicamba mostraram-se eficientes no controle em estágio inicial de desenvolvimento dos biótipos de *Amaranthus* spp., provenientes dos municípios de Dom Pedrito-RS e Pedro Osório-RS. A utilização dos herbicidas atrazine, 2,4-D e dicamba, também se mostrou eficiente em biótipos de caruru com estaturas superiores a 7,5 cm de altura, provenientes do município de Pedro Osório-RS. Na pré-emergência, os herbicidas s-metolachlor, pendimethalin, atrazine, trifluralina, metribuzin e sulfentrazone apresentaram-se eficientes no controle do biótipo de Dom Pedrito-RS (BR6).

Referências

- AGOSTINETTO, D.; RIGOLI, R. P.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; FONTANA, L. C. Competitividade relativa da soja em convivência com papuã (*Brachiaria plantaginea*). **Scientia Agrária**, v.10, p.185-190, 2009.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas: Editora UFPel, 2014. p.09-32.
- AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://bi.agricultura.gov.br/reports/rwervlet?agrofit_cons&ingredientes_consolidado.rdf&p_id_ingrediente_ativo=&p_nm_comum_port=&p_id_grupo_quimico=&p_id_classe=8&p_id_cultura=&p_tipo_relatorio=CONSOLIDADO¶mform=no>. Acesso em: 10, jun. 2021.
- AGUYOH, J. N.; MASIUNAS, J. B. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with snap beans. **Weed Science**, v.51, p.202-207, 2003.
- AMARANTE, Adriana Almeida. **Caracterização morfoanatômica, ecofisiologia e controle de capim-rabo-de-burro**. 2019. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão.
- BANCO MUNDIAL. Perspectivas Econômicas Globais. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/pt/publication/global-economic-prospects>>. Acesso em: 26, Jul. 2021.
- BECKIE, H. J.; TARDIF, F. J. Herbicide cross resistance in weeds. **Corp Pretection**, v.35, p.15-28, 2012.
- BENSCH, C. N.; HORAK, M. J.; PETERSON, D. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*) in soybean. **Weed Science**, v.51, p.37-43, 2003.
- BETTS, K. J.; EHLKE, N. J.; WYSE, D. L.; GRONWALD, J. W.; SOMERS, D. A. Mechanism of inheritance of diclofop resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Weed Science**, v.40, p.184-189, 1992.
- BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. **Ciência Rural**, v.36, p.1380-1387, 2006.

BRAZ, G. B. P.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M.; DAN, H. A.; GUERRA, N.; FRANCISCHINI, A.; JUMES, T. M. C. Performance of cotton herbicide treatments for *Amaranthus lividus* and *Amaranthus hybridus*.

Revista Brasileira de Herbicidas, v.11, p.1-10, 2012.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de planta daninha. In: OLIVEIRA Jr., R. S. CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Planta Daninha**. Curitiba - PR: Ompipax, 2011. p.1-36.

BUCHANAN, G. A.; BURNS, E. R. Weed Competition in Cotton. II. Cocklebur and Redroot Pigweed. **Weed Science**, v.19, p.580-582, 1971.

BUTTS, T. R.; VIEIRA, B. C.; LATORRE, D. O.; WERLE, R.; KRUGER, G. R. Competitiveness of herbicide-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) with soybean. **Weed Science**, v.66, p.729-737, 2018.

CARVALHO, L. B.; CRUZ-HIPOLITO, H.; GONZÁLEZ-TORRALVA, F.; ALVES, P. L. C. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; PRADO, R. Detection of sourgrass (*Digitaria insularis*) biotypes resistant to glyphosate in Brazil. **Weed Science**, v.59, p.171-176, 2011.

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**, v.24, p.541-548, 2006.

CAPORALE, B. A.; RAMELLO, I.; TOBALDI, N.; BRACAMONTE, E. R. Evaluación del nivel de resistencia diferencial de *Amaranthus hybridus* L. Kunth y *Amaranthus palmeri* S. Watson a glifosato e inhibidores de ALS em Córdoba, Argentina. **Trabajo Académico Integrador**, Universidad Nacional de Córdoba - Córdoba, Argentina, 2018, 33p.

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**, v.33, p.579-586, 2015.

CHAHAL, P. S.; GANIE, Z. A.; JHALA, A. J. Overlapping residual herbicides for control of photosystem (PS) II-and 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD)-inhibitor-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Watson) in glyphosate-resistant maize. **Frontiers in Plant science**, v.8, p.1-11, 2018.

CHAUDHARI, S.; VARANASI, V. K.; NAKKA, K.; BHOWMIK, P. C.; THOMPSON, C. R.; PETERSON, D. E.; CURRIE, R. S.; JUGULAM, M. Evolution of target and non-target based multiple herbicide resistance in a single Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) population from Kansas. **Weed Technology**, p.447-453, 2020.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, base e situação no Brasil e no Mundo. In: Christoffoleti, P. J. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. p.3-30.

CNA. Panorama do Agro. 2021. Disponível em:

<<https://www.cnabrazil.orgbr/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 26, Jul. 2021.

- CONAB. Acompanhamento da safra: Grão. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/schmi/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z8oZlevantamento.pdf>. Acesso em: 26, Jul. 2021.
- COSTA, D. M. A.; BORGES, A. S. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*). **HOLOS**, v.1, p.97-111, 2005.
- COUSENS, R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technology**, v.5, p.664-673, 1991.
- DÉLYE, C. Weed resistance to acetyl- coenzyme-A carboxylase inhibitors: na update. **Weed Science**, v.53, p.728-746, 2005.
- DÉLYE, C.; DUHOUX, A.; PERNIN, F.; RIGGINS, C. W. Tranel PJ. Molecular mechanisms of herbicide resistance. **Weed Science**, v.63, p.91-115, 2015.
- DERU, J.; SCHILDER, H.; SCHOOT, J. R.; EEKEREN, N. Genetic differences in root mass of *Lolium perenne* varieties under field conditions. **Euphytica**, p.223-232, 2014.
- DEVINE, M. D.; EBERLEIN, C. V. Physiological, biochemical e molecular aspects of herbicide resistance based on altered target sites. In: BURTON, J. D.; KUHR, R. J. **Herbicide activity: toxicology, biochemistry e molecular biology**. Amsterdam: 1997. p.159-185.
- DUGGLEBY, R. G; PANG, S. S. Acetohydroxyacid synthase. **Journal of Biochemistry and Molecular Biology**. v.33, p.1-36, 2000.
- EMBRAPAA. **Plantas daninhas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-plantas-daninhas/sobre-o-tema>>. Acesso em: 25, Jan. 2021.
- EMBRAPAb. Weeds. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/en/tema-plantas-daninhas/sobre-o-tema>>. Acesso em: 05, jul. 2021.
- FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. A.; REIS, M. R.; VARGAS, L.; VIANA, R. G.; GUIMARÃES, A. A.; GALON, L. Potencial competitivo de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, v.26, p.261-269, 2008.
- FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D. Interferência de *Raphanus sativus* sobre cultivares de soja durante a fase vegetativa de desenvolvimento da cultura. **Planta Daninha**, v.24, p.425-434, 2006.
- FLECK, N. G.; LAZAROTO, C. A.; SCHAEGLER, C. E.; FERREIRA, F. B. Controle de papuã (*Brachiaria plantaginea*) em soja em função da dose e da época de aplicação do herbicida clethodim. **Planta Daninha**, v.26, p.375-383, 2008.
- FRAGA, D. S.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; NOHATTO, M. A.; THÜRMER, L.; HOLZ, M. T. Adaptive value of ryegrass biotypes with low-level resistance and susceptible to the herbicide fluazifop and competitive ability with the wheat culture. **Planta Daninha**, v.31, p.875-885, 2013.
- FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; SANTOS, G.; FRANCHINI, L. H. M.; BIFFE, D. F. Resistance of *Amaranthus retroflexus* to acetolactate synthase inhibitor herbicides in Brazil. **Planta Daninha**, v.32, p. 437-446, 2014.

- GAINES, T. A.; WARD, S. M.; BUKUN, B.; PRESTON, C.; LEACH, J. E.; WESTRA, P. Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species. **Evolutionary applications**, v.5, p.29-38, 2012.
- GARCÍA, M. J.; PALMA-BAUTISTA, C.; VAZQUEZ-GARCIA, J. G.; ROJANO-DELGADO, A. M.; OSUNA, M. D.; TORRA, J.; DE PRADO, R. Multiple mutations in the EPSPS and ALS genes of *Amaranthus hybridus* underlie resistance to glyphosate and ALS inhibitors. **Scientific Reports**, v.10, p1-11, 2020.
- GAZZIERO, D. L. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; VARGAS, L.; KRUSE, N. D. **Crêterios Para Relatos Oficiais Estatísticos de Biótipos de Plantas Daninhas Resistentes   Herb cidas**. Sete Lagos, MG: Embrapa, 2008.
- 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 herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v.34, p.581-587, 2016.
- GONÇALVES NETO, Acácio. **Crescimento e desenvolvimento, resistência múltipla aos herb cidas inibidores da EPSPs-ALS e alternativas em p s-emergência para o controle de *Amaranthus palmeri* (S.) Wats.** 2017. p.76. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Universidade de São Paulo. São Paulo.
- GONÇALVES NETO, A.; NICOLAIS, N.; CARVALHOM, J. P.; MALARDOR, R.; LÓPEZ-OVEJEROP, F.; CHRISTOFFOLETI, J. Control of ALS-and EPSPS-Resistant *Amaranthus palmeri* by Alternative Herbicides Applied in PRE-and POST-Emergence. **Planta Daninha**, v.37, p.1-8, 2018.
- GRAY, J. A.; STOLTENBERG, D. E.; BALKE, N. E. Productivity and intraspecific competitive ability of a velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) biotype resistant to atrazine. **Weed Science**, v.43, p.619-626, 1995.
- HAEFELE, S. M.; JOHNSON, D. E.; BODJ, D. M.; WOPEREIS, M. C. S.; MIEZAN, K. M. Field screening of diverse rice genotypes for weed competitiveness in irrigated lowland ecosystems. **Field Crops Research**, v.88, p.39-56, 2004.
- HALL, L. M.; STROME, K. M.; HORSMAN, G. P. Resistance to acetolactate synthase inhibitors and quinclorac in a biotype of false clover (*Gallium spurium*). **Weed Science**, v.46, p.390-396, 1998.
- HEAP, I.; LEBARON, H. Introduction and overview of resistance. In: POWLES, S. B.; SHANER, D. L. EDS. **Herbicide resistance and world grains**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p.1-22.
- HEAP, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. 2021. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 26, jul. 2021.
- HOFFMAN, M. L.; BUHLER, D. D. Utilizing Sorghum as a functional model of crop, weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. **Weed Science**, v.50, p.466-472, 2002.
- HOLT, J. S.; RADOSEVICH, S. R. Differential growth of two common groundsel (*Senecio vulgaris*) biotypes. **Weed Science**, v.31, p.112-120, 1983.

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

JORDAN, D.; YORK, A. **Optimizing palmer amaranth control with postemergence herbicides control**. Raleigh: North Carolina State University, 2p. 2010.

KING, L. J. Weeds or the world: Biology and control. New York, NY: **Interscience Publications**. p.526, 1966.

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

KNEZEVIC, S. Z.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) in corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v.42, p.568-573. 1994.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A.; BURGOS, N. R. Competitiveness of ALS inhibitors resistant and susceptible biotypes of greater beggarticks (*Bidens subalternans*). **Planta Daninha**, v.29, p.457-464, 2011.

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: 19, jul. 2021.

LEITÃO FILHO, H. F. Espécies de *A. maranthus* que ocorrem como invasoras no município de Campinas. **Bragantia**, v.27, p.477-491, 1968.

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

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2006. p.362.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979. p.331-350.

MALLORY-SMITH, C.; NAMUTH, D. Overview e objectives of herbicide resistance: mechanisms, inheritance & molecular genetics. Disponível em: <<http://plantandsoil.unl.edu>>, 2012. Acesso em: 11, abr. 2021.

MARIANI, F.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M. A.; LANGARO, A. C.; DUARTE, T. V. Valor adaptativo e habilidade competitiva de azevém resistente e suscetível ao iodosulfuron em competição com o trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.710-719, 2016.

MARTINSA, M. B.; MUNHOSB, T. F.; VIGHIB V. A.; ROSAC, R. F.; TIMMD, C.; THEISENC, G.; ANDRESC, A. Manejo de *Amaranthus hybridus* em área de integração lavoura-pecuária na região sul do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.19, p.1-12, 2020.

MENDES, K. F.; DIAS, A. C. R.; INOUE, M. H. Herbicidas Registrados para o Controle de Espécies do Gênero *Amaranthus* e Resultados de Pesquisa Científica no Brasil. In: INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; MENDES, K. F.; CONSTANTON, J. **Manejo de Amaranthus**. São Carlos, São Paulo: RiMa, 2015. p.75-104.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de populações de plantas daninhas resistentes aos herbicidas de acetolactato sintase. **Planta Daninha**, v.19, p.67-74, 2001.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. Manual de identificação de plantas infestantes: cultivos de verão. Campinas, SP: **FMC Agricultural Products**. 2011. p.642.

MUJICA, A.; BERTI, M.; IZQUIERDO, J. **El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización**. Santiago de Chile: FAO, 1997.

OLIVEIRA, C.; MATHIONI, S. M.; LEMES, L.; OZÓRIO, E.; JAUER, A.; ALTMANN, T.; FACCO, M.; BARTZ, E.; ROSA, D. População de caruru (*Amaranthus hybridus*) resistente ao glyphosate são encontradas no Rio Grande do Sul. Sociedade Brasileira de Plantas Daninhas. **Boletim Informativo**, v.28, p.23-26, 2019.

PALMA-BAUTISTA, C.; TORRA, J.; GARCÍA, M. J.; BRACAMONTE, E.; ROJANO-DELGADO, A. M.; CRUZ, R. A.; PRADO, R. Reduced absorption and impaired translocation endows glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* harvested in GR soybean from Argentina. **Agricultural and Environmental Chemistry**, p.1-26, 2019.

PENCKOWSKI, L. H.; MASCHIETTO, E. H. G.; BORSATO, E. F.; ADEGAS, F. S.; MOREIRA, L. S. O.; BIANCHI, M. A.; RIZZARDI, M. A.; OLIVEIRA JR. R. S.; DORNELLES, S. H. B. Alerta! Cresce o número de lavouras com *Amaranthus hybridus* resistente ao herbicida glyphosate no Sul do Brasil. **Revista FABC**, p.11-14, 2020.

PEROTTI, V. E.; LARRAN, A. S.; PALMIERI, V. E.; MARTINATTO, A. K.; ALVAREZ, C. E.; TUESCA, D.; PERMINGEAT, H. R. A novel triple amino acid substitution in the EPSPS found in a highlevel glyphosate resistant *Amaranthus hybridus* population from Argentina. **Pest Management Science**, v.75, p.1242-1251, 2018.

PITOL, Andressa. **Sagittaria montevidensis: superação de dormência, valor adaptativo e habilidade competitiva em convivência com arroz irrigado**. 2019. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v.61, p.317-347, 2010.

RADOSEVICH, R. S.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. **Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management**. 3 ed. New York: Wiley, 2007. 589p.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M. **Como Funciona os Herbicidas**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005.

ROUSH, M. L.; RADOSEVICH, S. R.; WAGNER, R. G.; MAXWELL, B. D.; PETERSEN, T. D. A comparison of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments. **Weed Science**, v.37, p.268-275, 1989.

RUCHEL, Queli. **Respostas da cultura da soja (*Glycine max* L.) e de plantas daninhas C3 e C4 quando em competição e submetidas a estresses abióticos**.

2018. 219f. Tese (Doutorado em Fitossanidade)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS.

SBCPD. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. SBCPD: Londrina. 1995

SBCPD. Dez passos para relatos de novos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. 2018. Disponível em: < http://www.napd.uem.br/up/Public-NAPD_7472dfe509d66fdbd2a9b383b1954b78kMfF0.pdf?fbclid=IwAR3S-I4lc8wjx_uimXnKRSy5NWRDDWPPT76oAqRiTmnWEQDZXIlo1jQrDyc>. Acesso em: 26, jul. 2021.

SHYAM, C.; BORGATO, E. A.; PETERSON, D. E.; DILLE, A. J.; JUGULAM, M. Predominance of Metabolic Resistance in a Six-Way-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Population. **Front Plant Science**, v.11. 2020.

SIBONY, M.; MICHEL, A.; HAAS, H. U.; RUBIN, B.; HURLE, K. Sulfometuron-resistant *Amaranthus retroflexus*: cross-resistance and molecular basis for resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **Weed Research**, v.41, p.509–522. 2001.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, R. B. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV, 2007. p.58-117.

SMITH A. E.; SECOY, D. M. A. Compendium of Inorganic Substances Used in European Pest Control before 1850. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.24, p.1180-186, 1976.

SOLTANE, N. Potential yield loss in corn, soybean, dry bean and sugar beet due to weed interference in North America. Disponível em: <<https://wssa.net/wp-content/uploads/Corn-soybean-drybean-and-sugarbeet.pdf>>. Acesso em: 26, Jan. 2021.

TRANEL, P. J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS inhibiting herbicide: what have we learned?. **Weed Science**, v.50, p.700-712, 2002.

TRUCCO, F.; TATUM, T.; RAYBURN, A. L.; TRANEL, P. J. Out of the swamp: unidirectional hybridization with weedy species may explain the prevalence of *Amaranthus tuberculatus* as a weed. **New Phytologist**, v.18, p.819-827, 2009.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.497-506, 2000.

VARGAS, Andrés Antônio Monge. **Dormência, competitividade com soja e qualidade de sementes de plantas daninhas em solo de terras baixas**. 2019. 155f. Tese (Doutorado em Ciências)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão.

VARGAS, R. **Herbicide resistance**. The University of Arisona. Disponível em: < <https://cals.arizona.edu/crops/pesticides/papers/herbresis.html>>. Acesso em: 26, jul. 2021.

VILA-AIUB, M. M.; GOH, S. S.; GAINES, T. A.; HAN, H.; BUSI, R.; YU, Q.; POWLES, S. B. No fitness cost of glyphosate resistance endowed by massive EPSPs gene amplification in *Amaranthus palmeri*. **Planta**, v.239, p.793-801, 2014.

YU, Q.; POWLES, S. B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Management Science**, v.70, p.1340-1350, 2014.

YU, Q.; JALALUDIN, A.; HAN, H.; CHEN, M.; SAMMONS, R. D.; POWLES, S. B. Evolution of a double amino acid substitution in the 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase in *Eleusine indica* conferring high-level glyphosate resistance. **Plant Physiology**, v.167, p.1440-1447, 2015.