

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus-galli*)
RESISTENTE AOS HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS E
QUINCLORAC EM ARROZ IRRIGADO

Felipe de Oliveira Matzenbacher
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Herbologia

Porto Alegre (RS), Brasil
Maio de 2012

DEDICO

*A minha família,
que há mais de 27 anos me
apoia em todas minhas escolhas.*

*Como você quer viver?
Como deseja jogar o jogo?
Prefere pensar grande ou pequeno?
A escolha é sua.*

T. Harv Eker

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao professor Aldo Merotto Jr. pela excepcional orientação e amizade, cujos ensinamentos foram além da ciência.

Agradeço à minha família e a minha namorada Giordana, pelo amor e por estar do meu lado em minhas escolhas profissionais e pessoais durante todos os momentos da minha vida.

Aos bolsistas André Motta Leguisamo, Angélica Trentin Gobatto, José Ari Nenê Barcelos, Cátia Meneguzzi, Leticia Pereira Dias e Valmir Kupas, pela ajuda na realização deste trabalho e, sobretudo, pela amizade.

A todos meus colegas e amigos do Departamento de Plantas de Lavoura, pela amizade e companheirismo, em especial aos amigos de todos os dias que dividem a sala dos estudantes, entre eles: Ana Carolina Roso, Anderson Nunes, Augusto Kalsing, Catarine Markus, Cléver Variani, Daniele Almeida, Daniela Barbosa, Everton Bortoly, Guilherme Menegati, Juliano Fuhrmann Wagner, Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart, Michael Serpa, Taiguer Cerutti, Silmara da Luz Correia e Vladirene M. Vieira.

Aos técnicos Adroaldo e Fábio e a todos os professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial aos professores Christian Bredemeier, André Thomas, Ribas Vidal e Paulo Regis Ferreira da Silva, pelos ensinamentos e amizade.

À UFRGS e em especial à Faculdade de Agronomia e o Departamento de Plantas de Lavoura, pela acolhida e por me tornar um profissional competitivo no mercado de trabalho.

Ao Diretor Técnico do Instituto Rio Grandense do Arroz, Eng. Agr. Valmir Menezes e, novamente, ao pesquisador Eng. Agr. Augusto Kalsing, pelo material

vegetal cedido para realização deste trabalho e, principalmente, pela grande oportunidade de compor a Equipe de Agronomia da instituição.

Ao produtor e Eng. Agr. Marcosalem Morem Braga, pela grande ajuda na disponibilização da área experimental para a condução dos experimentos a campo.

Ao programa de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela ajuda financeira em forma de bolsa de estudos, ao longo destes dois anos.

CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE CAPIM-ARROZ (*Echinochloa crus-galli*) RESISTENTE AOS HERBICIDAS DO GRUPO DAS IMIDAZOLINONAS E QUINCLORAC EM ARROZ IRRIGADO¹

Autor: Felipe de Oliveira Matzenbacher

Orientador: Aldo Merotto Junior

RESUMO

A resistência a herbicidas em capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) é um problema presente em todas as regiões de produção de arroz irrigado do Sul do Brasil. No entanto, a prevenção e o controle deste problema são dificultados devido ao desconhecimento do mecanismo de resistência aos herbicidas relacionados a este processo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver métodos rápidos de diagnóstico da resistência de capim-arroz a imidazolinonas; analisar a ocorrência de metabolização como mecanismo de resistência de capim-arroz aos herbicidas imazethapyr e quinclorac; e avaliar diferentes herbicidas isolados e em associações para controle de biótipos resistentes. Os bioensaios de plântula e perfilhos discriminaram a resistência de capim-arroz a imidazolinonas em sete dias de incubação, em concentrações de imazethapyr ou imazapyr + imazapic de 0,001 e 0,0001 mM, respectivamente. A avaliação do mecanismo de resistência de capim-arroz foi realizada com experimentos em casa de vegetação com aspersão foliar e solução hidropônica e a campo. A ocorrência de incremento de metabolização de herbicidas como mecanismo de resistência foi avaliada pela aplicação de inibidores das enzimas do grupo do citocromo P450 monooxigenases malathion, piperolina butóxido e 1-aminobenzotriazole. Estes inibidores reduziram o fator de resistência a imazethapyr entre 17 e 40% e a quinclorac entre 62 e 120%. Os resultados indicam que o incremento de metabolização está relacionado à resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas em alguns biótipos e com a evolução da resistência a quinclorac em biótipos inicialmente resistentes a imidazolinonas. O experimento a campo de avaliação de controle de capim-arroz resistente a inibidores de ALS indicou maior eficácia dos herbicidas clomazone, profoxydim, fenoxaprop-P-ethyl, propanil, quinclorac e penoxsulam. Associações de fenoxaprop-P-ethyl com inibidores de ALS e profoxydim com quinclorac resultaram em antagonismo no controle de capim-arroz, enquanto que as misturas de quinclorac com imazapyr + imazapic resultou em sinergismo. O incremento de metabolização está associado à resistência múltipla a herbicidas em capim-arroz. Práticas de prevenção de resistência a herbicidas em capim-arroz devem ser empregadas para evitar a distribuição da resistência e, principalmente, da ocorrência de resistência a outros herbicidas.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (189p.) Maio, 2012.

**CARACTERIZATION AND CONTROL OF BARNYARDGRASS
(*Echinochloa crus-galli*) RESISTENT TO IMIDAZOLINONES E QUINCLORAC
HERBICIDES IN IRRIGATED RICE¹**

Author: Felipe de Oliveira Matzenbacher

Adviser: Aldo Merotto Junior

ABSTRACT

The resistance to imidazolinone and quinclorac herbicides in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) is a problem in all regions of flooded rice in southern Brazil. However, the prevention and control of this problem is difficult due to the unknown mechanism of herbicide resistance. The objectives of this study were to develop rapid methods for the diagnosis of imidazolinone resistance in barnyardgrass; analyze the occurrence of metabolization enhancement as the mechanism of herbicide resistance of barnyardgrass to quinclorac and imazethapyr, and to evaluate different herbicides alone and in associations for the control of the imidazolinone resistant biotypes. The seedling and tiller bioassays discriminate the imidazolinone resistance in seven days of incubation of imazethapyr or imazapyr + imazapic at concentrations of 0.001 and 0.0001 mM, respectively. The evaluation of the resistance mechanism of barnyardgrass to imidazolinones was performed through experiments conducted in greenhouse with foliar spray and in hydroponic conditions and in the field. The occurrence of herbicide metabolization enhancement as a mechanism of resistance was assessed by the application of inhibitors of the cytochrome P450 monooxygenases, malathion, piperolina butoxide and 1-aminobenzotriazole. These inhibitors reduced the resistance factor of imazethapyr in 17 to 40% and of quinclorac in 62 to 120%. These results indicate that metabolization enhancement is related with the resistance of barnyardgrass to imidazolinone herbicides in some biotypes, and to the evolution of resistance to quinclorac in biotypes initially resistant to imidazolinones. The field experiment indicated the efficient control of the imidazolinone resistant barnyardgrass with clomazone, profoxydim, fenoxaprop-P-ethyl, propanil, quinclorac and penoxsulam. Combinations of fenoxaprop-P-ethyl and ALS inhibitors, and profoxydim and quinclorac resulted in antagonism, while the mixture of quinclorac and imazapyr + imazapic resulted in synergism for the barnyardgrass control. The metabolization enhancement is associated with the multiple herbicide resistance in barnyardgrass. The prevention of herbicide resistance in barnyardgrass must be employed to avoid the increase of the distribution of resistance and especially the resistance to other herbicides.

¹Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (189p.) May, 2012.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 A cultura do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....	6
2.2 Interferência de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado.....	7
2.3 Controle de capim-arroz	9
2.4 Resistência de capim-arroz aos herbicidas	11
2.5 Mecanismos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas	14
2.6 Resistência a herbicidas ocasionada pelo incremento da metabolização	15
2.7 Uso de inibidores de metabolização para diagnóstico de resistência	19
2.8 Resistência de capim-arroz por metabolização	21
2.9 Identificação de genes relacionados à metabolização de herbicidas	23
2.10 Uso de bioensaios para diagnóstico de resistência aos herbicidas	26
2.11 Eficiência de associações de herbicidas para controle de capim-arroz resistente	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas.....	33
3.1.1 Procedimentos experimentais	33
3.1.2 Análise dos dados	35
3.1.3 Experimento com embebição de sementes.....	36
3.1.4 Experimento com plântulas	37
3.1.5 Experimento com perfilhos	38
3.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS	39
3.2.1 Experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.....	39
3.2.2 Experimento em casa de vegetação com solução hidropônica.....	42
3.2.2.1 Procedimento experimental	42
3.2.2.2 Definição das concentrações dos inibidores de metabolização e dos herbicidas imazethapyr e quinclorac	44

	Página
3.2.2.3 Efeito dos inibidores de metabolização na eficácia de imazethapyr e quinclorac em solução hidropônica	46
3.2.3 Experimento em condições de campo	47
3.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo.....	49
4 RESULTADOS	52
4.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas.....	53
4.1.1 Experimento com embebição de sementes.....	53
4.1.2 Experimento com plântulas	57
4.1.3 Experimento com perfilhos	61
4.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS	64
4.2.1 Experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.....	64
4.2.1.1 Imazethapyr	64
4.2.1.2 Quinclorac	70
4.2.1.3 Clomazone.....	76
4.2.2 Experimento em casa de vegetação com solução hidropônica.....	82
4.2.2.1 Definição da concentração dos inibidores de metabolização e dos herbicidas imazethapyr e quinclorac	83
4.2.2.2 Efeito de inibidores de metabolização na eficácia de imazethapyr e quinclorac em solução hidropônica	91
4.2.3 Experimento em condições de campo	110
4.2.3.1 Imazethapyr	110
4.2.3.2 Quinclorac	111
4.2.3.3 Clomazone.....	111
4.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo.....	113
4.3.1 Intoxicação da cultura do arroz	114
4.3.2 Densidade de plantas de capim-arroz	116
4.3.3 Controle de capim-arroz	118
4.3.4 Efeito da associação entre herbicidas no controle de capim-arroz.....	121
4.3.5 Rendimento de grãos de arroz	122
5 DISCUSSÃO	125
5.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas.....	125

	Página
5.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS	130
5.2.1 Imazethapyr	130
5.2.1.1 Resistência a imazethapyr em capim-arroz	130
5.2.1.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de imazethapyr	131
5.2.2 Quinclorac	134
5.2.2.1 Eficiência de quinclorac em capim-arroz	134
5.2.2.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de quinclorac	136
5.2.3 Clomazone	138
5.2.3.1 Eficiência de clomazone em capim-arroz.....	138
5.2.3.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de clomazone.....	139
5.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo.....	141
5.3.1 Intoxicação da cultura.....	141
5.3.2 Eficácia no controle de capim-arroz.....	143
5.3.3 Efeito da associação entre herbicidas no controle de capim-arroz.....	144
5.4 Implicações da resistência de capim-arroz a imidazolinonas para o manejo de plantas daninhas na cultura do arroz	148
6 CONCLUSÕES	155
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
8 APÊNDICES	171
9 VITA	189

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Biótipos de capim-arroz analisados no experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.	40
2. Concentração de nutrientes da solução nutritiva.	43
3. Biótipos analisados no experimento com inibidores de metabolização em solução hidropônica.	47
4. Tratamentos do experimento com herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	51
5. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis germinação e comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio com embebição de sementes.	55
6. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 e 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio de plântulas.	59
7. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável crescimento relativo da massa fresca em comparação à testemunha não tratada de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio de plântulas.	60
8. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável redução da massa seca de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio com perfilhos.	62
9. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de imazethapyr, no experimento com aspersão foliar.	67

10. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes doses de imazethapyr, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.....	70
11. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de quinclorac, no experimento com aspersão foliar.....	72
12. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes doses de quinclorac, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.....	76
13. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 2, 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de clomazone, no experimento com aspersão foliar.....	79
14. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 7 DAT, submetido a diferentes doses de clomazone, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.....	82
15. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de 1-aminobenzotriazole (ABT), em condição hidropônica.....	84
16. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e da raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de piperolina butóxido (PBO), em condição hidropônica.....	85
17. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de malathion, em condição hidropônica.....	87
18. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca de parte aérea de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.....	89
19. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 4 e 7 DAT, e redução da massa seca de parte aérea, aos 7 DAT, de capim-arroz resistente e suscetível submetido a diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica.....	91

20. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 6, 9, 12 e 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.....	94
21. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável redução da massa seca em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.	95
22. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual na média de seis biótipos de capim-arroz, aos 6 e 9 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com e sem a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.	97
23. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 12 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.....	99
24. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.....	102
25. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de inibidores de metabolização, em condição hidropônica.....	103
26. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 5 e 7 DAT, e massa seca da parte aérea em relação a testemunha não tratada de capim-arroz, submetido a diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica.	106
27. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 5 DAT, submetido a diferentes concentrações de quinclorac com a aplicação prévia de inibidores de metabolização, em condição hidropônica.....	108
28. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de quinclorac com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.....	109
29. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por imazethapyr, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	110

30. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por quinclorac, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	111
31. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização na intoxicação do arroz por clomazone, em duas épocas de avaliação. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	112
32. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por clomazone, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	113
33. Intoxicação de plantas de arroz, em três épocas de avaliação, em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	115
34. Infestação de capim-arroz no estágio de plântulas e planta, aos 28 DAT _{pré} e 66 DAT _{pré} ou 38 DAT _{pós} , em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	117
35. Controle visual (%) de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS, aos 28, 39 e 56 DAT _{pré} ou 0, 39 e 45 DAT _{pós} , em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	119
36. Controle visual (%) de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS, aos 73, 92 e 128 DAT _{pré} ou 45, 64 e 100 DAT _{pós} , em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	120
37. Avaliação de misturas de herbicidas, aos 11, 28 e 45 DAT _{pós} , sobre capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em relação ao efeito observado (Obs) e à resposta esperada (Esp) pelo método de Colby. Palmares do Sul/RS, 2010/11.	121
38. Avaliação de misturas de herbicidas, aos 64 e 100 DAT _{pós} , sobre capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em relação ao efeito observado (Obs) e à resposta esperada (Esp) pelo método de Colby. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	122
39. Rendimento de grãos de arroz em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência para o controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	123
40. Análise de correlação entre os parâmetros analisados e o rendimento de grãos de arroz. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	124

41. Análise de correlação entre os parâmetros com maior significância e o rendimento de grãos de arroz. Palmares do Sul/RS, 2010/11.....	124
--	-----

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Ilustração das unidades experimentais no bioensaio com embebição de sementes (A) e da avaliação do comprimento radicular com o programa IMAGE J, onde o traço em amarelo representa a medição do comprimento das raízes pelo programa (B).....	36
2. Ilustração do procedimento utilizado para obtenção de plântulas (A) e das unidades experimentais do bioensaio com plântulas em solução herbicida (B).	37
3. Ilustração das unidades experimentais do bioensaio com perfilhos.	39
4. Estádio das plantas de capim-arroz no momento da aplicação dos tratamentos no experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.	41
5. Ilustração das unidades experimentais utilizadas para determinação das concentrações dos herbicidas e dos inibidores de metabolização no experimento em ambiente hidropônico.	44
6. Germinação de sementes (A e B) e comprimento de raiz (C e D) de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A e C) e imazapyr + imazapic (B e D), no bioensaio com embebição de sementes. Equações na Tabela 5.....	54
7. Ilustração do efeito de concentrações de imazethapyr no comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS, no bioensaio com embebição de sementes.	56
8. Ilustração do efeito de concentrações de imazapyr + imazapic no comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS, no bioensaio com embebição de sementes.	56
9. Controle visual (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A e C) e imazapyr + imazapic (B e D), aos 4 (A e B) e aos 7 DAT (C e D), no bioensaio com plântulas. Equações na Tabela 6.	58
10. Crescimento relativo da massa fresca (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A) e imazapyr + imazapic (B), aos 7 DAT, no bioensaio com plântulas. Equações na Tabela 7.	59

11. Ilustração do efeito das concentrações de imazethapyr no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com plântulas.....	60
12. Ilustração do efeito das concentrações de imazapyr + imazapic no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com plântulas.....	61
13. Redução da massa seca de raiz (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A) e imazapyr + imazapic (B), aos 7 DAT, no bioensaio com perfilhos. Equações na Tabela 8.....	62
14. Ilustração do efeito de concentrações de imazethapyr no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com perfilhos.....	63
15. Ilustração do efeito de concentrações de imazapyr + imazapic no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com perfilhos.....	63
16. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 DAT (D), no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 9.....	66
17. Redução da massa seca da parte aérea (%) de oito biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes doses de imazethapyr, aos 28 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 9.....	66
18. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H) de capim-arroz em função de diferentes doses de imazethapyr, com aplicação prévia de malathion, aos 14 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 10.....	69
19. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes doses de quinclorac, aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 DAT (D), no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 11.....	71
20. Redução da massa seca da parte aérea (%) de oito biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes doses de quinclorac, aos 28 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 11.....	74

21. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H), em função de diferentes doses de quinclorac, com aplicação prévia de malathion, aos 14 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 12. 75
22. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes doses de clomazone, aos 2 (A), 7 (B), 14 (C), 21 (D) e 28 DAT (E) e massa seca da parte aérea aos 28 DAT (F) , no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 13. 78
23. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H) de capim-arroz em função de diferentes doses de clomazone com aplicação prévia de malathion, aos 7 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 14. 81
24. Controle visual (%) de capim-arroz, em três épocas de avaliação (A), e redução da massa seca de parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT (B), em função de diferentes concentrações de 1-aminobenzotriazole (ABT), em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 15. 83
25. Controle visual (%) de capim-arroz, em três avaliações (A), e da redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, em função de diferentes concentrações de piperolina butóxido (PBO), em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 16. 85
26. Controle visual (%) de capim-arroz, em três avaliações (A), e na massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, em função de diferentes concentrações de malathion, em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 17. 86
27. Controle visual (%) de biótipos capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 (A), 7 (B) e 10 DAT (C), e massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada, aos 10 DAT (D), em função de diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica. Equações na Tabela 18. 88
28. Controle visual (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 (A) e 7 DAT (B), e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada, aos 7 DAT (C), em função de diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica. Equações na Tabela 19. 90
29. Controle visual (%) de seis biótipos de capim-arroz, aos 6 (A), 9 (B), 12 (C) e 14 DAT (D), em função de diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica. Equações na Tabela 20. 93

30. Redução da massa seca da parte aérea (%) de seis biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, em condição hidropônica. Equações na Tabela 21. 95
31. Controle visual (%) na média de seis biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 6 (A) e 9 DAT (B), com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 22. 96
32. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 12 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 23. 98
33. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 24. 101
34. Redução da massa seca da parte aérea (%) de capim-arroz, na média de seis biótipos, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 25. 103
35. Controle visual (%) de seis biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 5 (A) e 7 DAT (B), em condição hidropônica. Equações na Tabela 26. 105
36. Redução da massa seca da parte aérea (%) de seis biótipos capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 7 DAT, em condição hidropônica. Equações na Tabela 26. 105
37. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 5 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 27. 107
38. Controle visual (%) de capim-arroz (A) e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada (B), na média dos seis biótipos em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 7 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 28. 109

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

ABC	<i>ATP binding cassette</i>
ABT	1-aminobenzotriazole
ACC	Ácido 1-carboxílico-1-amino ciclopropano
ACCase	Enzima acetil coenzima-A carboxilase
ALS	Enzima acetolactato sintase
°C	Graus Celsius
C ₅₀	Dose do herbicida que causa 50% de controle
CE	Concentrado Emulsionável
CL	Clearfield [®]
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
cyt P450s	Citocromo P450 monooxigenase
DAT	Dias após o tratamento
DAT _{pré}	Dias após o tratamento dos herbicidas pré-emergentes
DAT _{pós}	Dias após o tratamento dos herbicidas pós-emergentes
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DG	Drift guard
E ₅₀	Dose do herbicida que reduz 50% a atividade enzimática
EPSPs	Enzima 5-enol-piruvil-shiquimato-3-fosfato sintase
ESP	Respostas de controle esperado pelo método de Colby

FAO	Food and Agriculture Organization
FR	Fator de resistência
g	Gramma
GR ₅₀	Dose do herbicida que reduz 50% a massa seca
GSTs	glutathiona-S-transferases
h	Hora
ha	Hectare
i.a.	Ingrediente ativo
IC	Intervalo de confiança
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
K(K ₂ O)	Potássio
kg	Quilograma
km	Quilômetro
L	Litros
LAFLOL	Laboratório da Flora Ruderal
lb	Libra
m ²	Metro quadrado
ml	Mililitro
mM	Mili Molar
N	Nitrogênio
NS	Não-significativo
P(P ₂ O ₅)	Fósforo
PBO	Piperolina butóxido
pH	Potencial de hidrogenação
Pol	Polegadas

Psi	Libra por polegada quadrada
SC	Solução concentrada
t	Tonelada
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
U\$	Dólar

1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz possui grande importância para a alimentação mundial, principalmente em países em desenvolvimento. O aumento da produção de arroz é importante para acompanhar a crescente demanda de alimentos, e esse aumento de produção pode ser alcançado, em grande parte, com melhorias do manejo da cultura. O controle de plantas daninhas é uma das principais ferramentas para atingir este objetivo, pois a interferência entre essas plantas e a cultura é um dos fatores mais limitantes para atingir altos rendimentos de grãos na cultura do arroz.

O capim-arroz (*Echinochloa* spp.) é uma das plantas daninhas com grande potencial competitivo com a cultura do arroz. Estima-se que, nas condições de cultivo do Sul do Brasil, cada planta de capim-arroz por metro quadrado causa perdas de rendimento de grãos entre 8,4 e 11,3% (Agostinetto *et al.*, 2007). O controle do capim-arroz e de outras plantas daninhas é obrigatório para atingir altos patamares de rendimento de grãos na cultura do arroz, o que comumente é realizado pelo uso de herbicidas. No entanto, o uso continuado de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, aliado a problemas de manejo da cultura, tem contribuído para a evolução da resistência a herbicidas em vários biótipos de capim-arroz. Essa evolução tem contribuído para o aumento dos prejuízos econômicos causados pelo capim-arroz, tornando-se uma nova problemática para o manejo da cultura do arroz irrigado.

Biótipos de capim-arroz resistentes aos herbicidas do grupo das imidazolinonas foram encontrados nas principais regiões produtoras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Atualmente, existem relatos de ocorrência desses biótipos em lavouras nos municípios de Palmares do Sul (Merotto Jr. *et al.*, 2009), Uruguaiana (Ulguim *et al.*, 2010), Bagé, São Gabriel, Camaquã, Arroio Grande, Rio Grande e Tubarão (Mariot *et al.*, 2010). Porém, o mecanismo que torna estes biótipos resistentes não foi identificado, o que dificulta a tomada de decisão para o controle das plantas resistentes. Ainda, a resistência de capim-arroz ao herbicida quinclorac também foi identificada em vários trabalhos no Sul do Brasil (Menezes & Ramirez, 2000; Merotto Jr. *et al.*, 2000; Eberhardt & Noldin, 2001; Andres *et al.*, 2007), cujo mecanismo de resistência também não é conhecido.

Os principais mecanismos de resistência de plantas a herbicidas são: local de ação alterado, super expressão da enzima alvo, alteração na absorção e na translocação, compartimentalização e metabolização. O mecanismo mais comum de resistência de plantas daninhas a herbicidas é devido à alteração do local de ação e ocorre principalmente em relação a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) (Yuan *et al.*, 2007). Esse mecanismo ocorre devido à mutação do DNA que codifica a enzima alvo, e resulta em resistência a herbicidas que atuam com o mesmo mecanismo de ação. Por outro lado, a resistência de plantas daninhas ocasionada pelo incremento da metabolização de herbicidas é um mecanismo mais problemático, pois é possível que uma planta se torne resistente a herbicidas de diferentes mecanismos de ação e mesmo a produtos nunca utilizados em uma determinada área (Powles & Yu, 2010).

Capim-arroz é uma espécie com grande capacidade de metabolizar herbicidas. Há relatos de resistência de capim-arroz por metabolização a bispyribac-sodium (Fischer *et al.*, 2000b; Yun *et al.*, 2005), bensulfuron-methyl (Osuna *et al.*, 2002),

fenoxaprop-P-ethyl (Yun *et al.*, 2005; Bakkali *et al.*, 2007), cyhalofop-butyl (Ruiz-Santaella *et al.*, 2006), thiobencarb (Yun *et al.*, 2005), penoxsulam (Yasuor *et al.*, 2009), propanil (Carey *et al.*, 1997; Leah *et al.*, 1997; Hoagland *et al.*, 2004) e clomazone (Yasuor *et al.*, 2010). A resistência aos herbicidas imidazolinonas pelo processo de metabolização foi identificada em algumas linhagens de *Helianthus annuus* L. ao herbicida imazamox (Kaspar *et al.*, 2011) e, em *Digitaria sanguinalis* L., ao herbicida imazethapyr (Hidayat & Preston, 2001). A grande capacidade de metabolizar herbicidas do capim-arroz e a identificação de metabolização de imidazolinonas em outras espécies evidenciam a possibilidade do envolvimento das enzimas do grupo cyt P450s (citocromo P450 monooxigenase) como mecanismo que torna biótipos de capim-arroz resistentes no Sul do Brasil.

A identificação do mecanismo de resistência a herbicidas é fundamental para determinar estratégias de manejo e para evitar a evolução e a disseminação dessas espécies daninhas. Conforme o mecanismo de resistência, diferentes práticas de manejo para prevenção de plantas resistentes são necessárias. Uma das formas de prevenção e controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas devido ao local de ação alterado é com a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação. No entanto, esse procedimento não é totalmente eficiente para plantas cuja resistência é decorrente de processos relacionados ao aumento da metabolização, visto que elas podem detoxificar herbicidas com diferentes mecanismos de ação.

Diante disso, há a necessidade de se estudar o mecanismo de resistência de capim-arroz aos herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac como forma de entender a evolução da resistência destes biótipos. O rápido diagnóstico da resistência é fundamental para determinar alternativas de controle com maior eficácia. Aliado a isso, a identificação do mecanismo que confere resistência aos biótipos da planta daninha e o

conhecimento de formas alternativas de controle químico com herbicidas de outros mecanismos de ação proporcionam o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis no manejo de biótipos de capim-arroz resistentes ocorrentes em lavouras de arroz irrigado.

A primeira hipótese deste trabalho é que a resistência de capim-arroz a imidazolinonas pode ser discriminada de forma rápida, barata e confiável em diferentes estádios de desenvolvimento. Essa discriminação facilitará a tomada de decisão na escolha do herbicida correto a ser aplicado na mesma estação de crescimento ou na safra seguinte.

A segunda hipótese é que o mecanismo que confere resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas e ao herbicida quinclorac é a maior taxa de detoxificação metabólica. Dessa forma, a aplicação prévia de inibidores de metabolização pode reduzir a expressão de enzimas detoxificantes e, por consequência, reduzir o fator de resistência dos biótipos analisados. Nessa linha de pesquisa, hipotetiza-se que a maior taxa de detoxificação de imazethapyr ou quinclorac em biótipos resistentes pode proporcionar um diferente padrão de ativação de clomazone e, com isso, variar a eficácia de controle entre biótipos resistente e suscetível. Ainda, a aplicação prévia de inibidores de metabolização pode reduzir a ação herbicida de clomazone, decorrente da menor ativação do 5-keto clomazone.

Por último, a terceira linha de pesquisa tem como hipótese que herbicidas de diferentes mecanismos de ação têm variações de eficácia de controle de capim-arroz e de seletividade para a cultura do arroz irrigado. Além desta, misturas de herbicidas de diferentes mecanismos de ação possam resultar em variação no controle de capim-arroz. As interações aditivas ou sinérgicas podem ser benéficas para o controle de capim-arroz resistente ou, se antagônicas, proporcionar ineficiência de controle. No caso de

antagonismo, a redução do efeito dos herbicidas caracteriza subdoses, que podem facilitar a evolução de resistência por mecanismos poligênicos, como a metabolização de herbicidas. A ocorrência desse cenário é agravante para o manejo de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado.

Objetivo geral

Caracterizar a resistência a herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac em capim-arroz, como forma de subsidiar estratégias de manejo desta infestante na cultura do arroz irrigado.

Objetivos específicos

- i) Desenvolver métodos rápidos para diagnosticar a resistência de capim-arroz a herbicidas imidazolinonas nos estádios de sementes, plântulas e perfilhos;
- ii) Analisar a ocorrência de incremento de metabolização como mecanismo de resistência de capim-arroz a herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac;
- iii) Avaliar a eficácia de herbicidas aplicados isolados e de misturas para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas imidazolinonas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes para o consumo humano por ser fonte básica de nutrientes na alimentação de mais da metade da população mundial. Esse cereal pertence à família *Poaceae*, subfamília *Oryzoideae* e tribo *Oryzaceae*, e caracteriza-se por apresentar plantas anuais, eretas, hidrófilas e com espiguetas bissexuadas com glumas rudimentares que permanecem presas ao pedicelo (Boldrini *et al.*, 2005).

O Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo, produzindo aproximadamente 2% da produção mundial (FAO, 2010). O país possui área cultivada de cerca de 2,8 milhões de hectares, com variação anual inferior a 5%. A produção em 2011/12 foi de 11,63 milhões de toneladas, 14,6% menor do que na safra 2010/11 (CONAB, 2012). O Rio Grande do Sul (RS) é responsável por 50,5% da produção brasileira de arroz. Na safra 2011/12, a área semeada foi de 1,053 milhão de hectares, que resultou na produção de 7,7 milhões de toneladas, com rendimento de grãos de, aproximadamente, 7,4 t ha⁻¹ (CONAB, 2012). A produção de arroz representa 10% do PIB (Produto Interno Bruto) do agronegócio do RS, gerando R\$ 175 milhões em ICMS (Imposto para Circulação de Mercadorias e Serviços) e 250 mil empregos (EMBRAPA, 2005). No Brasil, aproximadamente 50% da área cultivada com arroz e 76% da

produção total desse cereal ocorre em solos irrigados sob inundação (CONAB, 2012). O restante é relacionado à produção de sequeiro.

O rendimento de grãos de arroz irrigado do RS vem aumentando nas últimas décadas, passando de 3,6 t ha⁻¹, em 1977, para 7,4 t ha⁻¹, em 2012 (IRGA, 2011; CONAB, 2012). O melhoramento genético de cultivares e as técnicas de manejo da cultura como época de semeadura adequada, manejo da adubação, irrigação e melhor controle de plantas daninhas, especialmente o arroz-vermelho e capim-arroz, entre outros fatores, ocasionaram o aumento do rendimento de grãos na cultura do arroz e, como consequência, a melhor otimização dos fatores de produção. No entanto, este rendimento de grãos está aquém das produtividades obtidas em áreas experimentais ou lavouras sob altos níveis de manejo. A elevação desses patamares produtivos é crucial para o sucesso do setor orizícola do país. Uma das causas desta limitação é a interferência negativa imposta pelas plantas daninhas à cultura.

2.2 Interferência de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado

As plantas daninhas reduzem o rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado em função da competição por recursos naturais. Estima-se que a ausência de controle dessas espécies possa ocasionar perdas de até 85% do potencial produtivo (Fleck *et al.*, 2004). A intensidade da interferência depende de vários fatores, especialmente das espécies daninhas presentes na área de cultivo. Na cultura do arroz irrigado, as principais plantas daninhas são o arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.) e o capim-arroz.

O arroz-vermelho é a espécie daninha que causa maiores danos à cultura do arroz irrigado, por haver similaridade morfológica, fisiológica e genética entre ela e o arroz cultivado. Assim, o arroz-vermelho ocupa o mesmo nicho ecológico da cultura, que resulta em elevada competição pelos recursos essenciais ao desenvolvimento da

cultura. Essa planta daninha pode ser considerada um dos principais limitantes do cultivo do arroz em decorrência da elevada infestação em áreas de arroz irrigado, da redução da qualidade e do rendimento de grãos e da dificuldade de controle (Menezes *et al.*, 2009). O arroz-vermelho ocorre em praticamente todas as áreas produtoras de arroz do mundo, causando elevados prejuízos econômicos. Em estudos realizados com produtores de Arkansas (EUA) no ano de 2006, verificou-se que a infestação de lavouras de arroz com arroz-vermelho causava prejuízos de U\$ 274,00 por hectare (Burgos *et al.*, 2008).

As estratégias utilizadas para redução da interferência de arroz-vermelho incluem o uso de sementes de arroz isentas de contaminação, rotação de culturas, sistema de cultivo pré-germinado ou transplante de mudas, cultivares mais competitivas e herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura (Agostinetto *et al.*, 2001). Essas práticas apresentam limitada eficiência ou difícil implementação em várias áreas destinadas ao cultivo de arroz. No início da década de 2000, foram desenvolvidas variedades de arroz resistentes aos herbicidas do grupo das imidazolinonas, que possibilitam o controle de arroz-vermelho com herbicidas aplicados em pós-emergência da cultura (Gealy *et al.*, 2003).

O capim-arroz também é uma das principais infestantes da cultura do arroz irrigado na região Sul do Brasil, em função da capacidade competitiva e elevada infestação das áreas de produção (Andres *et al.*, 2007; Concenço *et al.*, 2008). Essa planta daninha apresenta grande distribuição e competitividade nos diversos sistemas de cultivo do arroz no mundo, decorrente de sua adaptação ao ambiente hidromórfico, associada à elevada produção de sementes, rápido crescimento inicial e ciclo fotossintético do tipo C4 (Marambe & Amarasinghe, 2002). Uma planta de capim-arroz por metro quadrado pode reduzir o rendimento de grãos de arroz entre 5 e 22%,

variando conforme a cultivar semeada e a época do início da irrigação (Galon *et al.*, 2007). Em outro trabalho, a presença de uma planta por metro quadrado reduziu o rendimento de grãos da cultura do arroz entre 8,4 e 11,3%, quando o início da irrigação foi de 1 a 20 dias após o tratamento com herbicida, respectivamente (Agostinetto *et al.*, 2007).

2.3 Controle de capim-arroz

O controle de capim-arroz é indispensável para manutenção do potencial produtivo da cultura do arroz irrigado. Até o final dos anos 80, o controle químico dessa espécie em lavouras de arroz irrigado era realizado com os herbicidas propanil e thiobencarb. Nos anos 90, o surgimento do quinclorac proporcionou maior eficiência de controle de capim-arroz. Esse herbicida foi intensamente usado pela alta eficácia no controle de capim-arroz e de *Aeschynomene* spp., baixa toxicidade para mamíferos, e seletividade para a cultura do arroz (Andres *et al.*, 2007). No final da década de 90, foi disponibilizado para utilização na cultura do arroz o herbicida bispyribac-sodium, que é um inibidor da enzima ALS. Desde então, os herbicidas inibidores de ALS têm sido frequentemente utilizados para controle de plantas daninhas na cultura do arroz, principalmente pelo seu amplo espectro de controle.

No início dos anos 2000, a tecnologia Clearfield[®] permitiu o uso de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas na cultura do arroz, tornando-se a principal ferramenta para controle de plantas daninhas associadas à cultura, principalmente do arroz-vermelho. Atualmente esta tecnologia também é a principal alternativa utilizada para controle de capim-arroz. A tecnologia Clearfield[®] consiste de variedades de arroz resistentes a esse grupo de herbicidas. Esta tecnologia proporcionou grande vantagem para manejo de plantas daninhas na lavoura de arroz irrigado, que está relacionada ao

controle químico eficaz do arroz-vermelho, o qual não era possível com uso de genótipos convencionais, por haver similaridade morfológica e fisiológica entre o arroz cultivado e a espécie daninha (Menezes *et al.*, 2009). Atualmente, aproximadamente metade da área de arroz do RS utiliza herbicidas imidazolinonas em conjunto com variedades de arroz Clearfield®. Considerando ainda a utilização de herbicidas sulfoniluréias, triazolpirimidinas e pirimidiniltio-benzoatos em cultivares convencionais, os herbicidas inibidores de ALS são utilizados em praticamente 100% da área de arroz do Estado do RS.

Herbicidas imidazolinonas apresentam grande eficácia para controle do arroz-vermelho, capim-arroz e da maioria das espécies daninhas presentes na lavoura de arroz irrigado. Atualmente, além deste grupo químico, há um grande número de alternativas para controle em pré e pós-emergência de capim-arroz com seletividade para arroz irrigado. No entanto, mesmo havendo grande número de herbicidas que atuam de diferentes formas, a pressão de seleção imposta pelo uso contínuo do mesmo mecanismo de ação ocasionou a evolução de biótipos resistentes no Sul do Brasil. Esse fato ocorreu com quinclorac nos anos 1990 e 2000, cujo uso contínuo proporcionou evolução de biótipos de capim-arroz resistentes a esse herbicida (Menezes & Ramirez, 2000; Merotto Jr. *et al.*, 2000; Eberhardt & Noldin, 2001; Andres *et al.*, 2007). Semelhantemente, a alta frequência de uso da tecnologia Clearfield® em todos os Estado do RS e de SC, aliada ao uso de outros inibidores de ALS, em muitos casos de forma inadequada, também resultou na evolução de biótipos de capim-arroz resistentes a herbicidas inibidores de ALS (Merotto Jr. *et al.*, 2009; Mariot *et al.*, 2010; Ulguim *et al.*, 2010).

2.4 Resistência de capim-arroz aos herbicidas

Herbicidas são compostos químicos que inibem enzimas com função crítica para o metabolismo da planta, ou que interferem no sistema de transporte de elétrons e na dinâmica de hormônios da planta. A eficácia desses produtos depende de sua absorção pela planta e translocação para o local de ação em dose letal, sem ser decomposto (Vidal & Merotto Jr., 2001). Quando o herbicida não chega ao local de ação em quantidade letal, o controle de plantas daninhas não ocorre, sendo que a causa deste problema pode ser a evolução da resistência aos herbicidas.

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é definida como a capacidade natural e herdável de determinados biótipos, dentro de uma população, de sobreviverem e se reproduzirem após a exposição a doses que seriam letais aos indivíduos suscetíveis da mesma espécie (Powles & Yu, 2010). O processo de evolução da resistência inicia devido à sobrevivência de indivíduos resistentes pré-existentes na população, os quais são selecionados pelo uso contínuo dos herbicidas. A resistência a herbicidas é decorrente da grande variabilidade genética que é característica das plantas daninhas, permitindo essa adaptação e sobrevivência em diferentes condições do agroecossistema (Delye *et al.*, 2009).

No mundo, estão documentadas 208 espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas (Heap, 2012). A grande ocorrência de resistência a herbicidas vem se constituindo em uma problemática para controle dessas plantas, necessitando novas ferramentas de controle de plantas daninhas, como uso de rotação de mecanismos de ação de herbicidas, cultivares resistentes a herbicidas e novas práticas de manejo da cultura.

A resistência a herbicida é dita cruzada quando um biótipo é resistente a mais de um herbicida com o mesmo mecanismo de ação. A resistência é descrita como múltipla

quando um biótipo é resistente a herbicidas de diferentes mecanismos de ação. Ainda, a resistência aos herbicidas em um mesmo biótipo pode ocorrer devido a um ou mais mecanismos de resistência da planta. Esta última pode ter sido originada pela seleção causada por um único herbicida ou pela seleção resultante do uso de diversos herbicidas que são utilizados sequencialmente ou simultaneamente (Preston *et al.*, 2009).

Resistência de biótipos de capim-arroz a herbicidas é descrita em vários locais do mundo. Há relatos de seis espécies de *Echinochloa* resistentes a dez diferentes grupos químicos, sendo que em quatro destas espécies, *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss., *E. oryzoides* (Ard.) Fritsch. e *Echinochloa colona* (L.) Link. ocorre resistência aos herbicidas inibidores de ALS (Heap, 2012). A pressão de seleção ocasionada pelo uso contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação ocasionou a evolução de resistência a diferentes herbicidas.

A pressão de seleção resultante da utilização de propanil ocasionou a evolução de resistência de capim-arroz em regiões produtoras de arroz dos EUA (Baltazar & Smith, 1994; Carey *et al.*, 1995), Grécia (Vasilakoglou *et al.*, 2000), Colômbia (Fischer *et al.*, 1993) e Sri Lanka (Marambe & Amarasinghe, 2002). Com o lançamento do quinclorac na década de 90 e seu amplo uso em praticamente todas as regiões produtoras de arroz, a evolução de resistência de capim-arroz também foi constatada no Sul do Brasil (Menezes & Ramirez, 2000; Merotto Jr. *et al.*, 2000; Eberhardt & Noldin, 2001; Andres *et al.*, 2007), nos EUA (Lovelace *et al.*, 2007) e em outros países (Valverde, 2007). Resistência de capim-arroz a imazethapyr, imazapyr e imazapic foi identificada no Sul do Brasil (Merotto Jr. *et al.*, 2009; Mariot *et al.*, 2010; Ulguim *et al.*, 2010). Biótipos de *E. phyllopogon* foram identificados com resistência a penoxsulam, que é outro herbicida inibidor de ALS, na Califórnia (Yasuor *et al.*, 2009).

Resistência múltipla de capim-arroz aos herbicidas foi relatada em diferentes locais do mundo. Na Malásia foi identificada resistência a propanil, a quinclorac e a cyhalofop-butyl (Rahman *et al.*, 2010). No Arkansas, foram identificados biótipos resistentes a quinclorac e a propanil (Malik *et al.*, 2010) e, na Califórnia, a molinate, thiobencarb, fenoxaprop-P-ethyl, bispyribac-sodium e a clomazone em *E. phyllopogon*, e a molinate e a thiobencarb em *E. oryzoides* (Fischer *et al.*, 2000a; Yasuor *et al.*, 2008). Nas Filipinas, trabalhos identificaram biótipos de *E. crus-galli* com resistência múltipla a butachlor e a propanil (Juliano *et al.*, 2010). Na Espanha, foi identificada resistência múltipla de *E. crus-galli* a quinclorac e a atrazine (Lopez-Martinez *et al.*, 1997).

O controle de capim-arroz em pré e pós-emergência com seletividade para a cultura do arroz irrigado pode ser feito com herbicidas de diferentes grupos químicos. Porém, para todos estes herbicidas, à exceção de pendimethalin, oxyfluorfen e oxadiazon, já foram identificados biótipos com resistência em algum local do mundo associado à produção dessa cultura. Ainda, no caso de oxyfluorfen e de pendimethalin, se identificou menor tolerância a estes herbicidas em biótipos de *E. colona* na Nigéria em relação a biótipos suscetíveis, podendo estar relacionado ao início do processo de evolução da resistência (Jafun *et al.*, 2003). A grande importância da utilização de herbicidas inibidores de ALS e da rápida evolução de resistência a estes herbicidas indica que o diagnóstico da resistência a estes herbicidas é essencial para a tomada de decisão no momento da aplicação, pois possibilita o planejamento do controle químico. Da mesma forma, o conhecimento do mecanismo que torna estas plantas daninhas resistentes é fundamental para determinação de práticas de manejo para controle de biótipos resistentes e para prevenção da ocorrência da resistência a herbicidas.

2.5 Mecanismos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas

Os mecanismos de resistência aos herbicidas em plantas daninhas são classificados como relacionados ao local de ação ou não relacionados ao local de ação do herbicida. No primeiro caso, a resistência pode ser decorrente da diminuição de afinidade do herbicida pelo local de ação na enzima, que resulta de uma mutação na sequência nucleotídica do DNA, ou devido à super expressão desta enzima. A resistência não relacionada ao local de ação pode ocorrer por mecanismos de redução da absorção, redução ou aumento da translocação e aumento da metabolização e da compartimentalização do herbicida (Powles & Yu, 2010). Esses últimos mecanismos reduzem a quantidade de herbicida que chega ao local de ação.

Resistência a herbicidas decorrente do local de ação alterado é o mecanismo mais frequentemente encontrado, principalmente em biótipos resistentes aos herbicidas inibidores da ALS (Tranel & Wright, 2002). Até o momento, identificaram-se oito mutações no gene ALS que conferem resistência de plantas daninhas, a seguir: alanina 122 (Ala₁₂₂), prolina 197 (Pro₁₉₇), alanina 205 (Ala₂₀₅), asparagina 376 (Asp₃₇₆), asparagina 377 (Asp₃₇₇), triptofano 574 (Trp₅₇₄), serina 653 (Ser₆₅₃) e glicina 654 (Gly 654) (Tranel & Wright, 2002; Imaizumi *et al.*, 2008; Sales *et al.*, 2008; Laplante *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2011).

Outra forma de resistência de plantas daninhas relacionada ao local de ação do herbicida é a super expressão da enzima alvo. Esse tipo de resistência foi relacionado à resistência ao herbicida glyphosate. Em *Amaranthus palmeri* S. Wats. foi identificado aumento de 5 a 160 vezes do número de cópias do gene EPSPs (Gaines *et al.*, 2010), que resultou na resistência ao glyphosate.

Resistência de plantas daninhas por variação de absorção ou de translocação foi identificada em diferentes espécies. Mecanismos de restrição da movimentação de

herbicidas na planta, como redução de absorção e translocação, são especialmente importantes para glyphosate e paraquat (Lorraine-Colwill *et al.*, 2002; Soar *et al.*, 2003; Yu *et al.*, 2004a; Preston *et al.*, 2005; Shaner, 2009). Plantas daninhas têm limitada capacidade de metabolizar estes herbicidas e a resistência por local de ação alterado só foi identificada para o herbicida glyphosate em uma região específica do gene EPSPs (Kaundun *et al.*, 2008), não sendo relacionada com resistência ao paraquat. Estes fatos aumentam a importância do mecanismo de resistência através de alteração da translocação para estes herbicidas.

A compartimentalização de herbicidas também pode tornar plantas daninhas resistentes. Foi identificado um biótipo de *Conyza canadensis* (L.) Cronq. resistente a glyphosate com capacidade de compartimentalizar esse herbicida no vacúolo em quantidades superiores a biótipos suscetíveis (Ge *et al.*, 2010). A alocação do herbicida do citossol para o vacúolo reduz a sua ação em enzimas alvo EPSPs, evidenciando capacidade evolutiva de plantas daninhas em se tornarem resistentes.

Além dos mecanismos descritos acima, a resistência também pode ocorrer devido ao incremento do metabolismo de herbicidas pelas plantas. Este mecanismo tem particular relevância pela capacidade de plantas daninhas metabolizarem herbicidas de diferentes mecanismos de ação.

2.6 Resistência a herbicidas ocasionada pelo incremento da metabolização

A resistência de plantas a herbicidas pelo mecanismo de metabolização é resultante do incremento das taxas de detoxificação metabólica. Esse incremento reduz a quantidade de moléculas do herbicida que chegam até o local de ação. Dessa forma, a quantidade de moléculas suficientes para que o controle aconteça nos biótipos resistentes aumenta consideravelmente em relação a um biótipo suscetível (Preston,

2004). Culturas e plantas daninhas possuem sistemas enzimáticos que metabolizam os herbicidas, os quais são compostos principalmente por cinco famílias de proteínas: aryl acil amidases (AAAs), citocromo P450 monooxigenase (cyt P450s), glutathione-S-transferases (GSTs), glicosiltransferase e transportadores ABC (“*ATP binding cassette*”) (Yuan *et al.*, 2007). Dentre esses sistemas enzimáticos, cyt P450s e GSTs possuem maior importância para metabolização de herbicidas como causa da resistência.

O processo de metabolização de xenobióticos em plantas ocorre em três fases. A fase I de detoxificação é composta principalmente pelo grupo de enzimas que compõem as cyt P450s, sendo o grupo enzimático mais versátil envolvido na detoxificação de herbicidas (Yuan *et al.*, 2007). Nessa fase, ocorre alteração na estrutura dos herbicidas ocasionada por reações de oxidação, redução, hidrólise, hidroxilação ou desalquilação. Cyt P450s são hemeoproteínas presentes na membrana do retículo endoplasmático, que utilizam o NADPH como co-substrato para doar elétrons e catalisar a ativação com oxigênio (Powles & Yu, 2010). A reação catalisada geralmente é uma mono-oxigenação com formação de uma molécula de água e um produto oxigenado, formando um complexo citocromo P450 redutase (Werck-Reichhart *et al.*, 2000; Yun *et al.*, 2005). Cyt P450s está presente em todos os organismos, desde protistas e plantas até mamíferos. Em plantas, além de suas funções fisiológicas na síntese de hormônios, esteróis e ácidos graxos e em muitos aspectos do metabolismo secundário, cyt P450s são importantes na detoxificação de substâncias químicas nocivas, dentre elas herbicidas, normalmente por hidroxilação ou desalquilação (Powles & Yu, 2010).

A necessidade de funções específicas de hidroxilação de vários compostos, aliada a grande variabilidade de compostos secundários sintetizados em plantas, acarretou na evolução da maior quantidade de genes de P450 nos vegetais em comparação com outros organismos (Schuler & Werck-Reichhart, 2003). O número de

genes funcionais de P450 é 83 em *Drosophila melanogaster* Meig. (Tijet *et al.*, 2001) e 57 em humanos (Leclerc *et al.*, 2010). Esses representam uma quantidade pequena em comparação com *Arabidopsis* ssp. e arroz que possuem 246 e 356 genes de P450, respectivamente (Nelson *et al.*, 2004). O número e a diversidade de enzimas P450 de plantas superiores ao de animais possibilitam a detoxificação de ampla gama de produtos químicos, o que torna estas enzimas importantes para a resistência a herbicidas (Yuan *et al.*, 2007).

A fase II de detoxificação de xenobióticos envolve a conjugação com moléculas hidrofílicas pela GST e glicosiltransferase. As enzimas glutationa-S-transferase (GSTs) têm função particular no mecanismo de proteção contra estresse oxidativo pela interação com espécie reativas de oxigênio (Dixon *et al.*, 1998). GSTs são enzimas multifuncionais que catalisam a conjugação com glutationa ou homoglutationa (em leguminosas) para vários substratos, para formar um produto polar S-gluthiona (Yuan *et al.*, 2007). Em algumas culturas e espécies de plantas daninhas, as enzimas GSTs podem detoxificar herbicidas diretamente pela conjugação com glutationa, que são posteriormente imobilizados no vacúolo (Martinoia *et al.*, 1993) ou exudados através das raízes (Schroder *et al.*, 2007). Algumas espécies possuem maior capacidade de detoxificar herbicidas que outras, o que possibilita maior chance de evolução da resistência por processo de metabolização.

A fase III envolve o transporte de moléculas conjugadas na fase II para o vacúolo ou para o espaço extracelular via transporte ativo. Os transportadores tipo ABC são os mais comuns envolvidos nesta fase de detoxificação. Suas funções em plantas estão relacionadas à excreção de compostos tóxicos, sequestros de metabólitos secundários, translocação de ácidos graxos e fosfolipídios, além de transporte de catabólitos de clorofila, tolerância a alumínio e a outros metais pesados (Schulz &

Kolukisaglu, 2006). Ao contrário do cyt P450s e da GST, os transportadores ABC conferem resistência pela compartimentalização de herbicidas quando atuam de forma isolada (Yuan *et al.*, 2007).

A caracterização do mecanismo de resistência por metabolização em plantas daninhas é importante para determinação de estratégias de manejo. A ocorrência da resistência causada por incremento de metabolização pode ser estudada utilizando inibidores específicos da cyt P450s. Em trabalho de revisão de literatura, Siminszky (2006) descreve vários estudos de caracterizações do cyt P450s na metabolização de diversos herbicidas e espécies de plantas daninhas em resposta a vários inibidores de metabolização. Muitos trabalhos demonstram que o uso de inibidores de metabolização como 1-aminobenzotriazole (ABT), piperolina butóxido (PBO), tridiphane ou malathion reduzem parcial ou totalmente o fator de resistência em plantas daninhas quando o mecanismo de resistência é a metabolização de herbicidas (Preston *et al.*, 1996; Bravin *et al.*, 2001; Letouze & Gasquez, 2003).

Dentre os inibidores de metabolização, o inseticida organofosforado malathion é o mais utilizado para identificar a ocorrência de metabolização como mecanismo que confere resistência a plantas daninhas (Christopher *et al.*, 1994). Isso ocorre porque o enxofre liberado para molécula desse inseticida organofosforado inibe a apoproteína P450 (Werck-Reichhart *et al.*, 2000). O ABT é um inibidor irreversível do cyt P450s, por ser uma molécula pequena e pela extrema reatividade do benzyne, que é o produto da reação de oxidação com o cyt P450s (Demontellano & Mathews, 1981). O PBO atua no metabolismo oxidativo do grupo metileno do cyt P450s, levando a formação de carbeno e de um complexo praticamente irreversível com o heme ferro de enzimas P450 (Feyereisen, 1999).

2.7 Uso de inibidores de metabolização para diagnóstico de resistência

Muitas plantas daninhas evoluíram resistência a herbicidas pelo processo de metabolização. Azevém (*Lolium* spp.) é a planta daninha na qual se verifica a maior ocorrência de biótipos com resistência a herbicidas ocasionada por incremento da metabolização. Verificou-se que, quando plantas resistentes de *Lolium rigidum* Gaud. foram tratadas com herbicidas em associação com inibidores do cyt P450s, houve sinergismo de malathion e amitrole com chlorsulfuron e diclofop, respectivamente, reduzindo o fator de resistência (Yu *et al.*, 2009). Esses resultados indicam que a resistência desses biótipos aos herbicidas inibidores de ACCase e ALS é devida ao aumento da atividade de isoenzimas P450. Resistência de *L. rigidum* a chlorsulfuron também foi identificada como processo de metabolização, na qual o biótipo resistente metabolizou mais rapidamente o herbicida do que o biótipo suscetível (Christopher *et al.*, 1994). Nesse trabalho, a associação de malathion ao chlorsulfuron reduziu significativamente a massa seca do biótipo resistente em relação à aplicação somente do herbicida. Aumento da detoxificação também foi identificado como mecanismo que confere resistência de *L. rigidum* a simazine (Burnet *et al.*, 1993). A aplicação de ABT em associação com simazine reduziu a massa seca do biótipo resistente em maior magnitude, em comparação com a aplicação isolada de simazine.

A aplicação de ABT em associação com diclofop-methyl aumentou o controle de dois biótipos de *Lolium* spp. resistentes ao herbicida, o que não foi observado nos biótipos suscetíveis (Bravin *et al.*, 2001). Isso relaciona a metabolização como mecanismo de resistência de *Lolium* spp. a esse herbicida. O incremento do metabolismo foi atribuído como fator que confere resistência a três diferentes biótipos de *Lolium multiflorum* Lam. aos herbicidas diclofop-methyl, fluazifop-P-butyl, tralkoxydim e resistência parcial a isoproturon (Cocker *et al.*, 2001). Em outro estudo,

L. rigidum resistente a trifluralin, pendimethalin, clomazone e triallate foi avaliado com e sem a aplicação de malathion (Tardif & Powles, 1999). Observou-se aumento do controle do biótipo resistente quando se aplicou malathion em associação com pendimethalin, o que não foi observado no biótipo suscetível, indicando que o processo de metabolização está envolvido na resistência de *L. rigidum* a esse herbicida.

Alopecurus myosuroides Hudson. foi identificada como outra espécie com grande atividade de metabolização de herbicidas (Hall *et al.*, 1997; Cummins *et al.*, 1999; Brazier *et al.*, 2002; Letouze & Gasquez, 2003). O fator de resistência de *A. myosuroides* a flupyrulfuron foi parcialmente reduzido com adição do inibidor de metabolização malathion (Letouze & Gasquez, 2003). No mesmo trabalho avaliando outro biótipo da mesma espécie com resistência múltipla a fenoxaprop-P-ethyl, flupyrulfuron e uréias, o fator de resistência foi significativamente reduzido com adição de tridiphane, malathion e PBO ou ABT, respectivamente. No terceiro biótipo resistente analisado, as aplicações de PBO, ABT e tridiphane aumentaram o controle com clodinafop, haloxyfop e fenoxaprop-P-ethyl, respectivamente, sugerindo que as enzimas do cyt P450s e GST estão envolvidas na resistência. A maior atividade da GST também foi identificada como mecanismo que confere resistência de *A. myosuroides* a fenoxaprop-P-ethyl e moderada resistência a chlorotoluron (Cummins *et al.*, 1999). Em outro trabalho, a resistência de *A. myosuroides* a chlorotoluron também foi atribuída à maior atividade do cyt P450s (Hall *et al.*, 1997).

Além de *Lolium* spp. e de *Alopecurus* spp., outras espécies de plantas daninhas foram diagnosticadas como resistentes a herbicidas pela capacidade de metabolização, entre elas: *Abutilon theophrasti* Medic. ao herbicida atrazine (Anderson & Gronwald, 1991); *Sonchus oleraceus* L. a simazine (Fraga & Tasende, 2003); *Sinapis arvensis* L. a ethametsulfuron (Veldhuis *et al.*, 2000); *Stellaria media* (L.) Vill. a mecoprop

(Coupland *et al.*, 1990); *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a imazethapyr (Hidayat & Preston, 2001); *Bromus tectorum* L. a propoxycarbazone (Park *et al.*, 2004); *Setaria* spp. a atrazine (De Prado *et al.*, 2000); *Phalaris minor* Retz. a isoproturon (Singh *et al.*, 1998); *Avena sterilis* L. a diclofop (Maneechote *et al.*, 1997); e, *E. phyllopogon* a vários herbicidas (Yasuor *et al.*, 2009).

2.8 Resistência de capim-arroz por metabolização

Diversos biótipos de capim-arroz desenvolveram resistência a vários herbicidas pela grande capacidade de metabolização (Carey *et al.*, 1997; Leah *et al.*, 1997; Fischer *et al.*, 2000b; Hoagland *et al.*, 2004; Yun *et al.*, 2005; Bakkali *et al.*, 2007; Yasuor *et al.*, 2009; Yasuor *et al.*, 2010). A resistência de capim-arroz a propanil, ocasionada pela grande pressão de seleção, nas décadas de 80 e 90, foi causada pela capacidade de metabolizar herbicidas em muitos biótipos analisados. A degradação metabólica de propanil em biótipos de *E. crus-galli* resistente e suscetível foi quantificada comparativamente com plantas de arroz (Carey *et al.*, 1997). Os resultados demonstraram valores similares entre a degradação metabólica do herbicida em plantas de arroz tolerantes e em biótipos de capim-arroz resistentes, o que não foi identificado em biótipos suscetíveis. Isso indica que o processo de metabolização está envolvido no mecanismo de resistência de *E. crus-galli* ao propanil.

A aplicação prévia de carbaryl, um inseticida que inibe a enzima aryl acylamidase, responsável pela metabolização de propanil em arroz, reduziu significativamente o fator de resistência de capim-arroz a propanil, em relação ao biótipo suscetível (Hoagland *et al.*, 2004). Esse resultado indica que o processo de metabolização também está relacionado ao mecanismo de resistência a propanil. A aplicação conjunta de inibidores de metabolização reduziu parcialmente o fator de

resistência de *Echinochloa colona* (L.) Link. a propanil, indicando que enzimas de metabolização podem ser as responsáveis pela resistência a esse herbicida (Leah *et al.*, 1997).

Com intensificação da utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação para controle de plantas daninhas associadas à cultura do arroz irrigado, novos relatos de incremento do processo metabólico foram diagnosticados como mecanismos que conferem resistência de capim-arroz a herbicidas. Grande parte dessas descobertas foi feita com aplicação conjunta de inibidores de metabolização. Em trabalhos com biótipos resistentes de *E. phyllopogon*, foi observada maior atividade de cyt P450s do que em biótipos suscetíveis quando pré-tratadas com bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl ou thiobencarb (Yun *et al.*, 2005). Esses teores mais elevados de cyt P450s em biótipos resistentes sugerem capacidade superior para suportar a toxicidade desses compostos devido ao processo de metabolização.

Plantas resistentes de *E. phyllopogon*, tratadas com malathion previamente à aplicação de penoxsulam, apresentaram aumento do controle e menor massa fresca em relação a plantas tratadas apenas com penoxsulam, sugerindo possível envolvimento de cyt P450s no metabolismo de herbicidas (Yasuor *et al.*, 2009). Em outro trabalho, foi constatado que o uso de malathion, seguido da aplicação de bispyribac-sodium, aumentou o controle de *E. phyllopogon* resistentes em até 31%, em relação à aplicação do herbicida isoladamente, sugerindo que a degradação metabólica contribuiu significativamente para a resistência observada (Fischer *et al.*, 2000b). Ainda, a conjugação do herbicida com glutathione pode ser a causa da resistência de *E. phyllopogon* a fenoxaprop-P-ethyl (Bakkali *et al.*, 2007).

A resistência de *E. phyllopogon* ao herbicida clomazone também está relacionada ao processo de metabolização. Variações na capacidade de detoxificar o

clomazone foram identificadas em plantas resistentes e suscetíveis de capim-arroz (Yasuor *et al.*, 2010). Neste estudo, biótipos resistentes apresentaram maior atividade de hidroxilação, produzindo um derivado monohidroxilado. Plantas suscetíveis acumularam 2,5 vezes mais 5-ketoclomazone, composto de ação herbicida, do que plantas resistentes.

2.9 Identificação de genes relacionados à metabolização de herbicidas

Genes de P450 associados à capacidade de metabolizar herbicidas foram identificados em alguns trabalhos. O gene CYP1A1 de humanos, quando inserido em arroz, foi capaz de metabolizar dez herbicidas de diferentes famílias, entre eles quizalofop-ethyl, isoxaben, chlorpropham, pendimethalin, mefenacet, amiprofos-methyl, norflurazon, pyributicarb, chlorotoluron e diuron, proporcionando alto grau de resistência (Kawahigashi *et al.*, 2003; 2007). Em trabalhos similares, a inserção do gene CYP2B6 de humanos, em arroz, proporcionou a resistência de plantas transgênicas a 13 diferentes herbicidas, sendo eles pyriminobac-methyl, chlortoluron, norflurazon, trifluralin, pendimethalin, amiprofos-methyl, acetochlor, alachlor, metolachlor, thenylchlor, pretilachlor, mefenacet e pyributicarb (Hirose *et al.*, 2005). A inserção do gene CYP51A1, de leveduras, em plantas de tabaco proporcionou resistência da planta transgênica ao herbicida gama-ketotriazole (Grausem *et al.*, 1995). Também em tabaco, a inserção do gene CYP71A10, originário de soja, tornou as plantas transgênicas resistentes a fluometuron, linuron, chlorotoluron e diuron (Siminszky *et al.*, 1999). A inserção do gene CYP1A1, de ratos, em batata aumentou a degradação de atrazine e de chlorotoluron em plantas transgênicas em comparação com plantas não transformadas, indicando que a inserção do gene P450 aumenta a detoxificação desses herbicidas (Yamada *et al.*, 2002).

Transformações de plantas com genes de GST também podem aumentar a resistência a herbicidas de diferentes famílias. Plantas transgênicas de trigo, oriundas da inserção do gene GST-27 proveniente de milho, tornaram-se resistentes aos herbicidas alachlor, EPTC e dimethenamid (Milligan *et al.*, 2001). Plantas transgênicas de tabaco, contendo os genes GmGSTU21 e GmhGS oriundos de soja, tornaram-se resistentes a fomesafen (Skipsey *et al.*, 2005). Também em tabaco, a inserção do gene GST I, de milho, tornou a planta transformada resistente a alachlor (Karavangeli *et al.*, 2005).

Embora alguns estudos identificaram genes de cyt P450s e de GST capazes de detoxificar herbicidas em mamíferos, fungos e algumas espécies cultivadas, atualmente não se tem conhecimento de genes dessas famílias que confirmam resistência em plantas daninhas. Há grande dificuldade de caracterização genética do cyt P450s em relação à resistência a herbicidas devido à diversidade de sequências nucleotídica de grandes dimensões e pela baixa conservação de aminoácidos entre famílias de P450 (Fischer *et al.*, 2001).

O envolvimento do cyt P450s na resistência de herbicidas tem sido principalmente identificado em gramíneas, o que pode ser explicado pelo maior número de genes P450 do que em dicotiledôneas (Powles & Yu, 2010). Em *L. rigidum*, por exemplo, 16 genes de P450 foram identificados em um biótipo com resistência múltipla aos herbicidas com envolvimento no processo de metabolização (Fischer *et al.*, 2001). No entanto, nesse trabalho, os genes de P450 não estiveram relacionados à metabolização de herbicidas. Por outro lado, pesquisas preliminares com biótipos de *E. phyllopogon* com resistência a múltiplos herbicidas envolvendo o cyt P450s demonstraram que as expressões de CYP7IC35, CYP8IA12 e CYP89B16 são altamente induzidas no biótipo resistente e não no suscetível (Satoshi *et al.*, 2009). Os níveis mais

elevados da expressão destes genes no biótipo resistente sugerem que eles possam estar envolvidos no mecanismo de resistência do capim-arroz.

A resistência de plantas daninhas causada por mecanismos de metabolização é problemática, pois as enzimas cyt P450s podem, simultaneamente, metabolizar herbicidas de diferentes mecanismos de ação, incluindo produtos aos quais as plantas nunca foram expostas (Powles & Yu, 2010).

O conhecimento do mecanismo molecular da ação do cyt P450s na resistência de plantas daninhas ainda é incipiente. As causas podem envolver mudanças na sequência nucleotídica, duplicação ou mudanças na regulação gênica ou, ainda, eventos epigenéticos, por metilação ou modificação de histonas, podendo ser responsáveis pela modulação da expressão dos genes P450 (Siminsky, 2006). No caso do efeito epigenético, a determinação desses mecanismos é mais problemática por relacionar-se diretamente ao desenvolvimento de cada planta e à variação do ambiente de crescimento.

A capacidade das plantas detoxificarem herbicidas por metabolização, pelo envolvimento do cyt P450s e da GST tem influência direta de fatores ambientais. Biótipos resistentes aos herbicidas por metabolização, quando submetidos a condições adversas, podem não expressar essa resistência (Milner *et al.*, 2007). Essa variação relacionada aos fatores ambientais pode mascarar metodologias que avaliam a metabolização de herbicidas, sendo fator importante a ser considerado na experimentação e aumentando a relevância da realização de experimentos a campo e em ambiente controlado.

2.10 Uso de bioensaios para diagnóstico de resistência aos herbicidas

O diagnóstico da resistência de plantas daninhas antes do momento da aplicação ou a confirmação da ocorrência da resistência em plantas com controle ineficiente são necessários para a rápida tomada de decisão das estratégias a serem utilizadas na própria safra ou na safra seguinte. Dentre outros fatores, a rápida identificação da resistência pode evitar o aumento do custo de controle pela diminuição do número de aplicações de herbicidas e, principalmente, por proporcionar a escolha do herbicida correto.

O método clássico de identificação de resistência de plantas a herbicidas é realizado pela aplicação de herbicidas pulverizados sobre plantas cultivadas em vasos em experimentos de curva de dose-resposta. Ainda, os estudos de identificação da resistência também podem ser realizados pelas análises bioquímicas de atividade de enzimas e de métodos moleculares (Corbett & Tardif, 2006). Porém, a comparação entre biótipos com suspeita de resistência com biótipos suscetíveis com os métodos clássicos normalmente demanda maior tempo, custo e trabalho. Em comparação com métodos expeditos, esses fatores dificultam a identificação de resistência em grande número de amostras e, principalmente, a obtenção de resultado rápido.

Métodos rápidos de diagnóstico de resistência de diferentes plantas daninhas foram desenvolvidos em placas de Petri, em rolos de germinação de sementes, em meio de cultivo contendo agar, em solução herbicida ou em ambiente hidropônico, entre outros. Independentemente do modo da condução experimental, esses métodos são mais eficientes quanto maior for a confiabilidade dos resultados e menores o custo e o tempo para discriminação da resistência. Por exemplo, a resistência de arroz-vermelho a imazethapyr + imazapic pode ser identificada em sete dias após o tratamento, tanto para sementes, quanto para plântulas e perfilhos, facilitando a identificação e a rápida tomada de decisão no momento da aplicação (Roso *et al.*, 2010). A resistência de

Lolium spp. a herbicidas inibidores de ACCase, com experimentos com plântulas cultivadas em agar contendo herbicida, pode ser identificado em 10 dias após o tratamento herbicida (Kaundun *et al.*, 2011). A identificação de linhagens de trigo e cevada resistentes a glyphosate foi realizada com uso de métodos rápidos onde foi avaliado o comprimento do coleóptilo em bioensaios com sementes aos quatro dias após o tratamento com herbicida (Escorial *et al.*, 2001). Resistência de *E. colona* a fenoxaprop-P-ethyl e a propanil foi identificada em sete dias por meio de métodos rápidos de análise de crescimento de raízes após o corte em plântulas ou com segmentos do caule de 8 cm em plantas, em praticamente todos os estádios de desenvolvimento, desde plântulas até planta adulta (Kim *et al.*, 2000).

Inúmeros trabalhos de diagnóstico de resistência a herbicidas em diferentes espécies daninhas foram desenvolvidos, inclusive para capim-arroz. No entanto, não existem estudos de desenvolvimento de formas rápidas de identificação de resistência de capim-arroz a imidazolinonas. A ampla utilização de variedades de arroz resistente a imidazolinonas e, por consequência, dos herbicidas deste grupo químico no Sul do Brasil, aliada à rápida evolução de biótipos de capim-arroz resistente, vem modificando o manejo de herbicidas nas lavouras de arroz irrigado. Esse cenário aumenta a importância de estudos para obtenção de diagnósticos da resistência de curta duração e de forma simplificada.

A resposta das plantas ao efeito de tratamento com herbicida é comumente baseada em atividade enzimática, na avaliação visual dos sintomas do herbicida, na mortalidade, ou na inibição de crescimento em relação a plantas não tratadas (Beckie *et al.*, 2000). A determinação da dose discriminante entre biótipos resistentes e suscetíveis varia conforme o método experimental. Normalmente, essa concentração do herbicida é determinada com experimento de curva dose-resposta que considera parâmetros

biológicos (Seefeldt *et al.*, 1998). A dose discriminante entre os biótipos resistentes e suscetíveis é a dose que proporciona a maior diferença vertical na curva dose-resposta e que resulta em, pelo menos, 80% do controle do biótipo suscetível (Beckie *et al.*, 1990). A escolha do modelo da regressão deve refletir o comportamento da variável analisada em relação à dose X (Ritz, 2010).

Os modelos logísticos de três e quatro parâmetros são os mais comuns utilizados em trabalhos com toxicologia. Em ambos os modelos, o parâmetro e possui grande importância e é referido como GR_{50} (*growth reduction*) quando a variável avaliada se refere à massa seca ou fresca de plantas, E_{50} ou I_{50} em relação à atividade enzimática ou C_{50} quando é avaliado o controle visual. O parâmetro GR_{50} é muito utilizado em pesquisas relacionadas à identificação da resistência a herbicidas para obtenção do fator de resistência. A intensidade da resistência é inferida pelo fator de resistência, que é calculado dividindo-se o GR_{50} do biótipo resistente pelo GR_{50} do biótipo suscetível, identificando assim o número de vezes em que a dose necessária para controlar o biótipo resistente é superior à dose necessária para controlar o biótipo suscetível (Hall *et al.*, 1998).

2.11 Eficiência de associações de herbicidas para controle de capim-arroz resistente

A presença de plantas daninhas resistentes a herbicidas evidencia a necessidade de buscar produtos alternativos ou associações entre herbicidas de diferentes mecanismos de ação. A grande utilização de herbicidas inibidores de ALS na cultura do arroz irrigado decorre do amplo espectro de controle, tanto de mono como de dicotiledôneas, e da necessidade de controle de arroz-vermelho com herbicidas imidazolinonas. O uso frequente de herbicidas inibidores de ALS proporcionou a

evolução de biótipos de capim-arroz resistentes a herbicidas desse mecanismo de ação. Em contraponto a isso, esses herbicidas são ferramentas de grande importância para controle de arroz-vermelho e outras espécies associadas ao cultivo de arroz. Esses dois fatos justificam a necessidade de associações de herbicidas inibidores de ALS com herbicidas de outros mecanismos de ação para controlar plantas daninhas nessa cultura.

A mudança no mecanismo de ação entre anos agrícolas ou a associação entre herbicidas de diferentes grupos químicos na mesma estação de crescimento são algumas das principais alternativas para eliminar os biótipos resistentes de plantas daninhas. Essa última alternativa aumenta o espectro de controle e previne o surgimento de plantas daninhas resistentes (Hatzios & Penner, 1985). Porém, a mistura de diferentes herbicidas pode apresentar variação na eficácia dos mesmos, facilitar o controle ou até mesmo prejudicar a ação de cada herbicida em comparação à aplicação de forma isolada. Essas interações podem ocorrer no solo, na calda de aplicação, na superfície foliar, nos tecidos responsáveis pela absorção e translocação e no local de ação dos herbicidas.

Os efeitos de associações entre herbicidas podem ser aditivos, sinérgicos ou antagônicos (Hatzios & Penner, 1985). Aditividade ocorre quando o efeito do controle observado é equivalente à soma dos efeitos isolados. Sinergismo entre associações de herbicidas ocorre quando o efeito observado é superior ao efeito isolado dos herbicidas. Antagonismo ocorre quando o efeito da associação entre diferentes herbicidas é inferior ao efeito isolado de cada herbicida (Hatzios & Penner, 1985; Zhang *et al.*, 1995).

A avaliação da interação de diferentes herbicidas normalmente é realizada pelo método de Colby (Colby, 1967), onde é avaliado o efeito do controle dos herbicidas em associação em relação ao efeito isolado. O método de Colby foi inicialmente difundido por Gowing (1959) e, depois adaptado por Limpel *et al.* (1962). Este método utiliza o

modelo multiplicativo ao invés do aditivo, sendo válido para casos onde os componentes da associação exibem ação não similar.

A interação de herbicidas também pode ser estudada utilizando modelos de regressão não lineares, pelas curvas dose-resposta como curvas polinomiais, logarítmicas ou exponenciais, sendo possíveis também curvas hipérbole-retangular ou polinomiais inversas, ou ainda curvas logísticas (Akobundu *et al.*, 1975; Morse, 1978; Seefeldt *et al.*, 1995). As curvas descrevem respostas biológicas das plantas, como massa seca, mortalidade, injúria ou atividade enzimática, a doses crescentes de herbicidas isolados ou em misturas, obtendo-se a estimativa das doses que provocam 50% do efeito total do herbicida e possibilitando analisar o resultado das interações (Kruse *et al.*, 2006).

Associações de herbicidas inibidores de ALS com inibidores de ACCase como alternativa para controle de capim-arroz resistente a ALS pode ocasionar antagonismo, o que prejudica a eficácia do controle. Misturas de fenoxaprop-P-ethyl com imazethapyr, bispyribac-sodium, penoxsulam e quinclorac resultaram em antagonismo, reduzindo a eficácia de controle de *E. crus-galli* (Blouin *et al.*, 2010). Fenoxaprop-P-ethyl aplicado em misturas com mecrofop ou metsulfuron também resultou em antagonismo (Mathiassen & Kudsk, 1998). Neste trabalho, a eficácia de controle de *Avena fatua* L. por fenoxaprop-P-ethyl diminui com o aumento da dose dos herbicidas, em comparação à aplicação dos herbicidas isolados. Associação com imazethapyr reduziu a eficácia de controle de clethodim, fluazifop, quizalofop ou sethoxydim em *Digitaria sanguinalis* L. Scop., *Panicum dichotomiflorum* Michx. e *Brachiaria plantyphylla* (Griseb.) Nash., em comparação com a aplicação apenas dos graminicidas (Myers & Coble, 1992). A redução da eficácia do herbicida inibidor de ACCase, quando aplicado em associação com inibidores de ALS, pode ser decorrente da redução

da absorção (Barnwell & Cobb, 1994) ou da translocação dos graminicidas (Ferreira *et al.*, 1995; Barnes & Oliver, 2004). Além de misturas com herbicidas inibidores de ALS, a interação de inibidores de ACCase com herbicidas de outros mecanismos de ação na cultura do arroz pode resultar em menor eficácia de controle de capim-arroz. Associações de fenoxaprop-P-ethyl com carfentrazone reduziu o controle de *E. crus-galli*, em comparação à aplicação de fenoxaprop-P-ethyl isolado (Zhang *et al.*, 2005a).

A complexidade da utilização de herbicidas de diferentes ingredientes ativos de forma simultânea aumenta quando se analisa plantas daninhas com diferentes características morfológicas e fisiológicas. Nesse caso, podem ocorrer variações entre os resultados, dependendo da mistura utilizada e da espécie em avaliação. Trabalhos avaliando 479 interações envolvendo 76 diferentes espécies de plantas daninhas demonstraram predomínio de antagonismo em monocotiledôneas e de sinergismo em dicotiledôneas (Zhang *et al.*, 1995). Respostas sinérgicas foram encontradas na mistura de glyphosate com lactofen para controle de *Sida spinosa* L. e de *Ipomoea lacunosa* L. (Norris *et al.*, 2001). No mesmo trabalho, a mistura dos mesmos herbicidas resultou em antagonismo para *E. crus-galli* e para *Sesbania exaltata* (Raf.) Rydb., comprovando que características biológicas e fisiológicas de cada espécie podem proporcionar diferentes interações de herbicidas.

A necessidade de rotação ou associação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação é uma das principais ferramentas de manejo da resistência a herbicidas em plantas daninhas. Porém, a mistura de herbicidas que interagem antagonicamente pode repercutir em ineficácia de controle, necessidade de reaplicação, aumento do custo de produção e redução do potencial produtivo da cultura. Estes aspectos necessitam ser conhecidos para possibilitar a indicação correta de herbicidas de outros mecanismos de

ação e de possíveis associações entre eles para correto planejamento da prevenção e controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em três etapas. A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de métodos de rápido diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em capim-arroz nos estádios de sementes, plântulas e perfilhos. A segunda etapa consistiu na utilização de inibidores de metabolização como forma de diagnosticar o mecanismo de resistência a herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac em capim-arroz. Considerando como hipótese que o processo de metabolização como mecanismo que torna estes biótipos resistentes, a inibição da expressão de enzimas do cyt P450s pode reduzir o fator de resistência, e desta forma, caracterizar o processo de metabolização como o mecanismo que torna esses biótipos resistentes a herbicidas. A terceira etapa consistiu da avaliação da eficácia de herbicidas registrados para controle de capim-arroz, e os efeitos da interação entre os principais herbicidas utilizados em associação em lavouras de arroz do Sul do Brasil.

3.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas

3.1.1 Procedimentos experimentais

Foram desenvolvidos três experimentos no Laboratório de Fisiologia Vegetal e da Flora Ruderal (LAFLOR) da Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre, RS, com embebição de sementes e crescimento de plântulas e afilhos. O delineamento

experimental utilizado em ambos os experimentos foi o completamente casualizado, em esquema fatorial (2 biótipos x 2 herbicidas), com quatro repetições. O fator A foi constituído dos biótipos de capim-arroz suscetível, originário do Estado de São Paulo, denominado SUSSP01, e resistente a herbicidas inibidores de ALS, denominado PALMS01. O biótipo resistente foi coletado em área de aproximadamente um hectare em lavoura comercial no município de Palmares do Sul/RS, onde se observou deficiência de controle com uso dos herbicidas imazethapyr + imazapic e bispyribac-sodium na safra de 2008/09 e com resistência comprovada em estudos anteriores (Merotto Jr. *et al.*, 2009). O fator B foi constituído dos herbicidas imazethapyr (*Imazetapir Plus Nortox*, 106 g L⁻¹) e imazapyr + imazapic (*Kifix*, 525 e 175 g kg⁻¹), pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas. As concentrações dos herbicidas foram 0; 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1,0; 10 e 100 mM. A concentração de imazapyr + imazapic refere-se ao massa molecular de imazapyr na mistura comercial *Kifix*. A obtenção destas concentrações foi feita considerando a molaridade de 289,33 e 261,28 g mol⁻¹, dos herbicidas imazethapyr e imazapyr, respectivamente.

Nos experimentos com plântulas e perfilhos, os biótipos passaram inicialmente por processo de interrupção de dormência em câmara úmida por quatro dias. Em seguida, as sementes foram acondicionadas em câmara de incubação com temperatura constante de 30 °C por quatro dias. Posteriormente, as sementes foram embebidas em água em placas de petri para obtenção das plântulas e perfilhos que foram cultivados até o estágio desejado em solo do tipo Gleissolo Háplico Ta distrófico, apropriado para cultivo de arroz irrigado. Nos três experimentos, as unidades experimentais foram acondicionadas em ambiente com temperatura constante de 25 ± 1°C e fotoperíodo de 12 horas de luz durante sete dias.

3.1.2 Análise dos dados

Os dados dos três experimentos foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha não tratada. Inicialmente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Em seguida, havendo significância no teste F, foi realizada a análise complementar pelo ajuste da equação logística de três parâmetros pelo pacote estatístico “drc” do programa “R” (Knezevic *et al.*, 2007), conforme:

$$f(x, (b, d, e)) = \frac{d}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}} \quad (\text{Equação 1})$$

onde $f(x)$ representa a variável dependente a ser estimada, d representa o limite superior da curva, b é a inclinação da curva no ponto em que esta produz a metade da resposta entre os valores inferior e superior e o parâmetro e é a dose em que é produzida metade da resposta entre os limites inferior e superior. Para o parâmetro e , que representa o GR₅₀ e, para o fator de resistência (FR), que é a relação do GR₅₀ do biótipo resistente dividido pelo GR₅₀ do biótipo suscetível, foram calculados o intervalo de confiança (IC) com significância de 95%, com base na equação abaixo:

$$\text{IC} = \bar{Y} \pm t_{\alpha(n-1)} S_{\bar{Y}} \quad (\text{Equação 2})$$

onde o IC representa o intervalo de confiança; o \bar{Y} representa a média de cada variável analisada; $t_{\alpha(n-1)}$ representa o valor t tabelado (distribuição de *Student*) para uma confiabilidade de 95%, onde α é 0,05 e n representa o número de observações; e $S_{\bar{Y}}$ representa o erro padrão da média.

Quando existiu diferença significativa entre biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, foi definida a concentração que melhor discrimina a resistência. Essa concentração é a que proporciona maior diferença vertical entre biótipos nos parâmetros avaliados para cada um dos três estádios de desenvolvimento.

3.1.3 Experimento com embebição de sementes

As sementes de capim-arroz de cada unidade experimental foram acondicionadas em recipientes com capacidade para 50 ml contendo os diferentes tratamentos herbicidas. Cada unidade experimental foi composta de, aproximadamente, 100 sementes, que permaneceram embebidas por um período de 24 horas. Após esse período, as sementes foram transferidas para papel germinador, acondicionadas na forma de rolo e mantidas em recipientes contendo aproximadamente 2 cm de água para proporcionar molhamento por capilaridade (Figura 1A).



FIGURA 1. Ilustração das unidades experimentais no bioensaio com embebição de sementes (A) e da avaliação do comprimento radicular com o programa IMAGE J, onde o traço em amarelo representa a medição do comprimento das raízes pelo programa (B).

As variáveis analisadas foram a germinação e o comprimento radicular aos sete dias após a incubação (Figura 1B). Nessa avaliação, foram analisadas dez plântulas de cada tratamento através de fotografia obtida com câmara fotográfica digital com cinco mega pixel de resolução, em fundo preto. O comprimento de raízes foi obtido pela comparação com uma régua padrão que foi fotografada juntamente com as sementes. A

quantificação do comprimento de raízes foi realizada pelo programa IMAGE J (Rasband, 1997).

3.1.4 Experimento com plântulas

As plântulas dos biótipos de capim-arroz foram transplantadas em solo simulando situação de lavoura (Figura 2A). Esse procedimento foi realizado utilizando-se de bandejas plásticas furadas de 30 x 40 x 10 cm, com aproximadamente 12 kg de solo, acondicionadas dentro de bandejas maiores contendo aproximadamente 2 cm de água. O solo foi mantido úmido por capilaridade. Após atingirem o estágio de duas a três folhas expandidas, as plântulas foram retiradas do solo, tiveram suas raízes lavadas e secas, e pesadas para análise da variação do peso fresco antes e após a incubação com os herbicidas. As plântulas foram acondicionadas em unidades experimentais com capacidade para 50 ml contendo solução herbicida, nas respectivas concentrações citadas anteriormente e mantidas em câmara de crescimento conforme a Figura 2B. A solução herbicida foi substituída a cada quatro dias com objetivo de evitar o aumento da concentração do herbicida em cada tratamento.

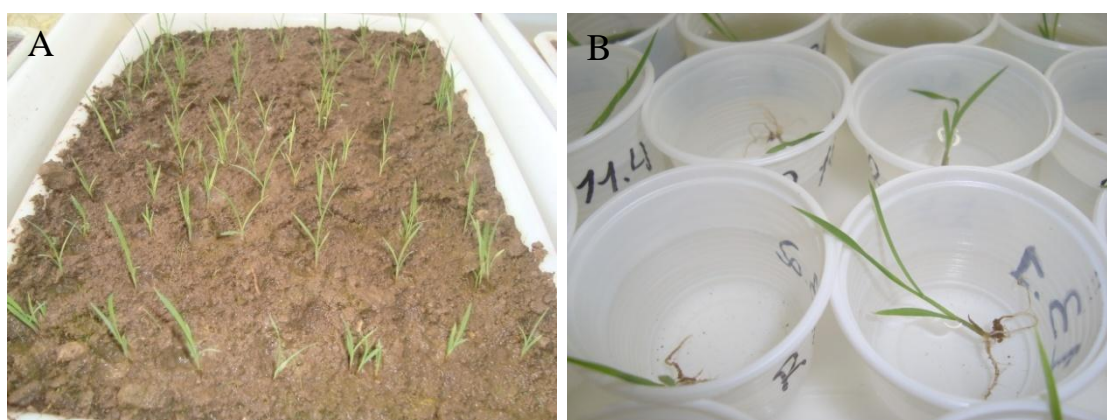


FIGURA 2. Ilustração do procedimento utilizado para obtenção de plântulas (A) e das unidades experimentais do bioensaio com plântulas em solução herbicida (B).

As variáveis avaliadas foram a variação da massa fresca, antes e após a incubação, e controle visual aos quatro e sete dias após os tratamentos herbicida. Para a avaliação de controle visual, utilizou-se de escala de 0 a 100%, onde o zero representa nenhum controle e 100% representa morte total das plântulas. A variação da massa fresca no bioensaio de plântulas foi ajustada pela equação de quatro parâmetros, conforme:

$$f(x, (b, c, d, e)) = c + \frac{d - c}{1 + \exp \{b(\log(x) - \log(e))\}} \quad (\text{Equação 3})$$

em que $f(x)$ representa a variável dependente a ser estimada, d representa o limite superior da curva, c representa o limite inferior, b é a inclinação da curva no ponto em que esta produz a metade da resposta entre os valores inferior e superior e o parâmetro e , também conhecido como GR_{50} , é a dose em que é produzida metade da resposta entre os limites inferior e superior (Ritz & Streibig, 2005). As demais avaliações de controle visual foram ajustadas pela equação de três parâmetros, descrita no item 3.1.2.

3.1.5 Experimento com perfilhos

Neste experimento, após a interrupção da dormência e da pré-germinação, as plântulas de capim-arroz foram acondicionadas em vasos e cultivadas até o estágio de seis folhas. Nesse estágio, as plantas foram retiradas do solo e tiveram suas raízes e perfilhos laterais descartados. Os perfilhos principais foram acondicionados em recipientes com capacidade para 250 ml, contendo a respectiva solução herbicida (Figura 3). As raízes foram destacadas do colmo e as plantas foram mantidas por sete dias na solução herbicida. A avaliação constou da massa seca de raízes obtida pelo

destacamento destas do colmo da planta. As análises dos resultados foram realizadas conforme descrição do item 3.1.2.



FIGURA 3. Ilustração das unidades experimentais do bioensaio com perfilhos.

3.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS

Foram desenvolvidos experimentos em casa de vegetação com aspersão foliar, em solução hidropônica e a campo, com o objetivo de avaliar se a atividade metabólica está relacionada ao mecanismo que confere resistência de biótipos de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas e a quinclorac. A expressão de enzimas que conferem resistência por processo de metabolização pode ser influenciada por fatores ambientais (Milner *et al.*, 2007). Essa influência pode mascarar metodologias que avaliam a metabolização de herbicidas e justifica a experimentação em diferentes condições de crescimento.

3.2.1 Experimento em casa de vegetação com aspersão foliar

O experimento foi realizado no LAFLOR da Faculdade de Agronomia da UFRGS, durante os meses de dezembro de 2010 a janeiro de 2011. O delineamento

experimental foi o completamente casualizados, em esquema fatorial, com cinco repetições. O fator A foi composto por oito biótipos de capim-arroz: dois biótipos suscetíveis, cinco biótipos resistentes a ALS e um biótipo com resistência múltipla a herbicidas inibidores da ALS e a quinclorac. A resistência ou a suscetibilidade dos biótipos analisados foram comprovadas em estudos anteriores (Merotto Jr. *et al.*, 2009; Mariot *et al.*, 2010) e são descritas na Tabela 1. O fator B constou dos herbicidas imazethapyr (*Imazetapir Plus Nortox*, 106 g L⁻¹), nas doses 0, 33, 66, 100, 200, 400 e 800 g ha⁻¹, com adição de 0,5% v/v Dash; clomazone (*Gamit Star*, 800 g L⁻¹), nas doses 0; 100; 200; 300; 400; 500; 750 e 1.000 g ha⁻¹; e quinclorac (*Facet*, 375 g L⁻¹), nas doses 0; 75; 150; 225; 300; 375; 562,5 e 750 g ha⁻¹, com adição de 1 L ha⁻¹ Assist. Essas doses correspondem a 0; 0,33; 0,66; 1; 2; 4 e 8 vezes a dose utilizada a campo na cultura do arroz no RS para o imazethapyr e a 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a dose de campo recomendada para clomazone e quinclorac (SOSBAI, 2010). O fator C constou da presença ou ausência do inibidor de cyt P450s malathion (Malathion 500 EC Cheminova, 500 g L⁻¹), na dose de 1.000 g ha⁻¹.

TABELA 1. Biótipos de capim-arroz analisados no experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.

Código	Origem	Resistência a inibidores de ALS	Resistência a quinclorac
PALMS01	Palmares do Sul/RS	sim	não
ARRGR01	Arroio Grande/RS	sim	sim
CAMAQ01	Camaquã/RS	sim	não
PALMS02	Palmares do Sul/RS	sim	não
SUSSP01	São Paulo/SP	não	não
MOSTS01	Mostardas/RS	não	não
RIOGR01	Rio Grande/RS	sim	não
BAGE001	Bagé/RS	sim	não

As sementes passaram por processo de interrupção de dormência em câmara úmida por cinco dias, seguida pela permanência em estufa com temperatura de

aproximadamente 30 °C, por quatro dias. A semeadura foi realizada no dia 27 de dezembro de 2010. As unidades experimentais constaram de vasos plásticos furados na extremidade inferior com capacidade para 250 ml, contendo solo Gleissolo Háptico Ta distrófico (Figura 4). Os vasos foram arranjados em bandejas mantidas com lâmina de água de 5 cm. A adubação foi de 500 kg ha⁻¹ de N-P-K na fórmula 5-20-20, aplicada ao solo anterior à semeadura. A aspersão dos herbicidas e do malathion ocorreu isoladamente quando as plantas atingiram o estágio de três a quatro folhas (Figura 4). A aplicação foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, munido de bicos DG 110.02, com pressão constante de 50 lb pol⁻², com deslocamento de 1 m s⁻¹, resultando num volume de calda de 200 L ha⁻¹. O malathion foi aspergido duas horas antes dos herbicidas, conforme resultados de estudos similares (Hidayat & Preston, 2001; Yasuor *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2009). Durante a aplicação, a umidade relativa média do ar era de 70% e a temperatura média era de 24 °C.



FIGURA 4. Estádio das plantas de capim-arroz no momento da aplicação dos tratamentos no experimento em casa de vegetação com aspersão foliar.

As variáveis avaliadas foram controle visual aos 2, 7, 14, 21 e 28 dias após os tratamentos (DAT) para o herbicida clomazone e aos 7, 14, 21 e 28 DAT para os

herbicidas imazethapyr e quinclorac, além da avaliação da massa seca da parte aérea aos 28 DAT para todos os tratamentos. As unidades experimentais tratadas com clomazone foram avaliadas aos 2 DAT, diferente das demais, pelos sintomas mais precoce da ação desse herbicida.

Inicialmente, os valores de massa seca da parte aérea foram convertidos em porcentagem da testemunha não tratada. Os dados foram submetidos à ANOVA. Após, havendo significância no teste F, foi realizada a análise complementar pelo ajuste da equação logística de três parâmetros, com o software *Sigmaplot* 11 (Systat Software, San Jose, CA). Nesse caso, não foi possível utilizar o programa R, como nas análises feitas nos outros experimentos, pela diferença entre os intervalos das doses do eixo X.

3.2.2 Experimento em casa de vegetação com solução hidropônica

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, na Faculdade de Agronomia da UFRGS. Inicialmente, foram desenvolvidos experimentos preliminares para definição da concentração dos inibidores de metabolização que não causassem injúria ou redução do crescimento das plantas de capim-arroz. Também foram realizados experimentos preliminares com os herbicidas imazethapyr e quinclorac para definir as concentrações que melhor caracterizam a diferença entre biótipos resistentes e suscetíveis.

3.2.2.1 Procedimento experimental

Nos ensaios preliminares para definição das concentrações e no experimento final, as plântulas foram cultivadas em solução nutritiva conforme descrito na Tabela 2. O pH da solução nutritiva foi ajustado para 5,4 com adição de NaOH. As sementes passaram por processo de quebra de dormência e indução da germinação em câmara de

crescimento até o coleóptilo atingir aproximadamente 1 cm de comprimento. Após, as plântulas foram acondicionadas nas unidades experimentais contendo a solução hidropônica, a qual foi substituída a cada sete dias. Quando as plântulas atingiram o estágio de duas a três folhas foram adicionados à solução hidropônica os tratamentos com os inibidores e herbicidas. As unidades experimentais foram acondicionadas em casa de vegetação, com temperatura de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60 \pm 10\%$.

TABELA 2. Concentração de nutrientes da solução nutritiva.

Nutriente	Composto	Concentração final
K	KCl	0,1 mM
K, P	KH_2PO_4	0,1 mM
K, S	K_2SO_4	0,7 mM
Ca, N	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	2 mM
Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,5 mM
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,5 μM
Mo	$(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7 \text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,01 μM
B	H_3BO_3	10 μM
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,5 μM
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0,2 μM
Fe^{+3}	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot X \text{H}_2\text{O}$	100 μM
Quelante	EDTA Dissódico	100 μM

As plântulas foram padronizadas em tamanho antes da aplicação dos tratamentos, com o objetivo de evitar variações de crescimento dos biótipos entre os tratamentos e repetições. A padronização consistiu da substituição de plantas de menor crescimento por plantas do tamanho padrão descrito anteriormente. Para isso, foram cultivadas paralelamente plântulas dos diferentes biótipos analisados no mesmo ambiente de crescimento.

3.2.2.2 Definição das concentrações dos inibidores de metabolização e dos herbicidas imazethapyr e quinclorac

Experimentos preliminares foram desenvolvidos para definição das concentrações dos inibidores de metabolização e dos herbicidas. Para isso, as plântulas foram acondicionadas em unidades experimentais com capacidade para 500 mL contendo solução hidropônica, conforme demonstrado na Figura 5. Quando as plantas atingiram o estágio de duas a três folhas completamente expandidas, foram cultivadas em solução hidropônica com os tratamentos herbicidas ou com os inibidores.

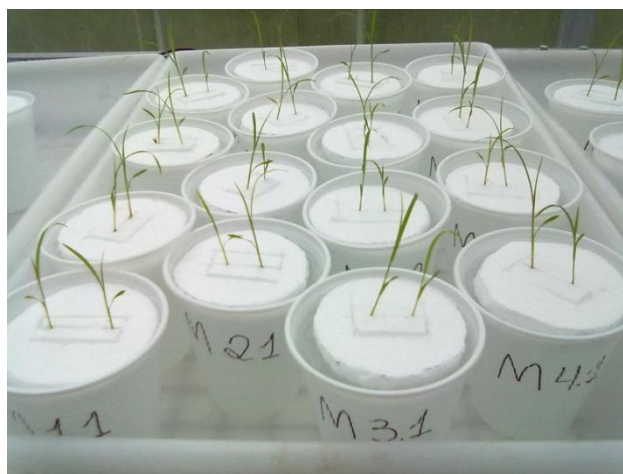


FIGURA 5. Ilustração das unidades experimentais utilizadas para determinação das concentrações dos herbicidas e dos inibidores de metabolização no experimento em ambiente hidropônico.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para a definição das concentrações dos inibidores de metabolização, foi testado o biótipo PALMS01 como padrão. Para a definição das concentrações dos herbicidas, foram testados o biótipo suscetível SUSSP01, juntamente com um biótipo resistente a cada herbicida testado, sendo eles: PALMS01 e ARRGR01, nos ensaios preliminares com imazethapyr e quinclorac, respectivamente. As concentrações testadas para os inibidores foram baseadas em trabalhos similares onde estes produtos foram

utilizados com outros herbicidas ou espécies. As concentrações para o inibidor piperolina butóxido (PBO) foram: 0; 1; 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg L⁻¹ (Hall *et al.*, 1997; Letouze & Gasquez, 2001), para malathion foram: 0; 0,2; 0,5; 1; 10; 20 e 40 mg L⁻¹ (Letouze & Gasquez, 2001); e para 1-aminobenzotriazole (ABT) foram: 0; 1; 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg L⁻¹ (Hall *et al.*, 1997; Singh *et al.*, 1998; Letouze & Gasquez, 2001; Yu *et al.*, 2004b). A definição das concentrações testadas dos herbicidas foi baseada na resposta do bioensaio de plântulas descrito no item 3.1.4 para imazethapyr, sendo de 0; 0,0028933; 0,028933; 0,28933; 2,8933; 28,933; 289,33 e 2893,3 mg L⁻¹, que correspondem a 0; 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; e 10 mM. Para o herbicida quinclorac, as concentrações foram 0; 0,02421; 0,2421; 2,421; 24,21; 242,1 e 2421,0 mg L⁻¹, que correspondem a 0; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1 e 10 mM.

As avaliações para definição das concentrações dos inibidores foram controle visual aos 4, 7 e 10 DAT e massa seca de raiz e parte aérea aos 10 DAT. A concentração dos inibidores selecionada para condução do experimento em solução hidropônica foi a maior concentração que não causou injúria nas plantas de capim-arroz em comparação à testemunha sem aplicação. Para isso, a análise comparativa foi realizada por ajustes entre o parâmetro analisado e o aumento de concentração do inibidor.

Os dados foram submetidos à ANOVA e, posteriormente, à análise estatística. Para definição das concentrações dos inibidores foi realizada a regressão de três parâmetros ajustada pelo software *Sigmaplot* 11 (Systat Software, San Jose, CA), com confiança a 95% de probabilidade.

As avaliações para definição das concentrações do herbicida imazethapyr foram controle visual aos 4, 7 e 10 DAT, e massa seca de parte aérea, aos 10 DAT. Para

definição das concentrações do herbicida quinclorac, as avaliações constaram de controle visual, aos 4 e 7 DAT, e massa seca da parte aérea, aos 7 DAT.

A análise estatística de cada variável mensurada nos ensaios preliminares para definição das concentrações dos herbicidas foi realizada inicialmente com a ANOVA. Esse procedimento, juntamente com o ajuste entre as concentrações e o fator analisado foram os mesmos descritos no item 3.1.2

3.2.2.3 Efeito dos inibidores de metabolização na eficácia de imazethapyr e quinclorac em solução hidropônica

O experimento foi realizado em delineamento completamente casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. O fator A foi composto por seis biótipos de capim-arroz, sendo dois biótipos com resistência múltipla a imidazolinonas e a quinclorac, três biótipos resistentes a imidazolinonas e um biótipo suscetível. Os biótipos analisados estão descritos na Tabela 3. O fator B foi composto pelas concentrações de imazethapyr: 0; 0,000001; 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; e 10 mM; ou, de quinclorac: 0; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 e 100 mM. Essas concentrações representam aquelas que melhor diferenciam os biótipos resistentes e suscetíveis, conforme resultados obtidos nos experimentos preliminares descritos no item 3.2.2.2. O fator C foi composto pelos inibidores de metabolização ABT, PBO e malathion nas concentrações de 10, 20 e 10 mg L⁻¹, respectivamente, que foram as maiores que não proporcionaram diferença estatística nas avaliações de controle visual ou massa seca de raiz ou parte aérea, em relação ao tratamento controle, conforme as avaliações descritas no item 3.2.2.2. Os herbicidas e os inibidores foram aplicados em solução hidropônica, sendo que a aplicação dos inibidores foi realizada duas horas antes do tratamento com os herbicidas.

TABELA 3. Biótipos analisados no experimento com inibidores de metabolização em solução hidropônica.

Código	Origem	Resistência a inibidores de ALS	Resistência a quinclorac
SUSSP01	São Paulo/SP	não	não
PALMS01	Palmares do Sul/RS	sim	não
CAMAQ01	Camaquã/RS	sim	não
ARRGR01	Arroio Grande/RS	sim	sim
CACHS50	Cachoeira do Sul/RS	sim	não
MOSTS51	Mostardas/RS	sim	sim

As variáveis analisadas no experimento com o herbicida imazethapyr foram controle visual, aos 6, 9, 12 e 14 DAT, e massa seca de parte aérea, aos 14 DAT. No experimento com o herbicida quinclorac, as variáveis analisadas foram controle visual, aos 5 e 7 DAT, e massa seca da parte aérea, aos 7 DAT. A análise estatística foi a mesma descrita no item 3.1.2.

3.2.3 Experimento em condições de campo

Foi conduzido um experimento em lavoura comercial de arroz irrigado localizada em Palmares do Sul, RS, infestada com biótipo de capim-arroz resistente a herbicidas inibidores da enzima ALS PALMS01, conforme comprovado por Merotto Jr. *et al.* (2009). Nesse trabalho, realizado em condições controladas, os autores também constataram menor controle do biótipo analisado com os herbicidas quinclorac e clomazone.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos contaram dos inibidores de cyt 450s malathion e PBO em combinação com os herbicidas imazethapyr, clomazone e quinclorac. O fator A constou dos herbicidas imazethapyr (*Imazetapir Plus Nortox*, 106 g L⁻¹), na dose de 100 g ha⁻¹, com adição de 0,5% v/v Dash, quinclorac (*Facet*, 375 g L⁻¹), na dose de 375 g ha⁻¹, com adição de 0,5 L ha⁻¹ de Assist, clomazone (*Gamit Star*, 800 g L⁻¹), na

dose de 500 g ha⁻¹, e uma testemunha sem aplicação. O fator B constou dos produtos malathion (*Malathion 500 EC Cheminova*, 500 g ha⁻¹), na dose de 1.000 g ha⁻¹, e piperolina butóxido (PBO, 900 g L⁻¹), na dose de 1.200 g ha⁻¹, e tratamento sem inibidor.

A semeadura do arroz irrigado foi realizada no dia cinco de novembro de 2010, com densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes da cultivar PUITÁ INTA CL. As unidades experimentais corresponderam a parcelas com dimensões de 7,0 x 2,0 m. A adubação de base foi realizada na semeadura da cultura, por meio da distribuição em linha de 250 kg ha⁻¹ da formulação 00-20-30 de N-P-K, o que proporcionou 0 kg N, 50 kg P₂O₅ e 75 kg K₂O ha⁻¹. A adubação nitrogenada foi dividida em duas aplicações de 130 e 17 kg ha⁻¹ da fórmula 46-00-00, nos estádios de V5 e na diferenciação da panícula (estádio R1), conhecido como “ponto de algodão”, de acordo com a escala de Counce *et al.* (2000), proporcionando 60 e 8 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A avaliação da densidade de plantas de capim-arroz foi realizada no dia 13 de janeiro de 2011 (38 DAT) e indicou a ocorrência de 480 plantas m⁻². As variáveis avaliadas foram controle visual aos 11, 28, 45, 64 e 100 DAT e massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. A massa seca foi mensurada pela coleta de plantas de capim-arroz em uma área de 0,5 m² no interior da área experimental.

A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia seis de dezembro, quando a cultura estava no estágio de quatro a cinco folhas expandidas. A aplicação dos inibidores foi realizada duas horas antes da aplicação dos herbicidas, com pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de bico DG 110.01, com pressão constante de 50 lb pol⁻², com deslocamento de 1 m s⁻¹, resultando num volume de calda de 200 L ha⁻¹. Durante a aplicação dos herbicidas pós-emergentes, a umidade do ar foi de

65 a 70%, a temperatura variou entre 20 e 26 °C e a velocidade do vento era de, aproximadamente, 1 km h⁻¹.

A irrigação do arroz foi realizada por inundação e iniciou nove dias após a aplicação do herbicida. O controle de pragas e doenças foi realizado com o inseticida piretróide + neonicotinóide (*Connect*, 12,5 + 100 g L⁻¹), na dose de 9,375 + 75 g ha⁻¹, e o fungicida tebuconazol + trifloxistrobina (*Nativo*, 200 + 100 g L⁻¹), na dose de 0,150 + 0,75 g ha⁻¹, respectivamente. A eliminação de *Aeschinomene* spp. e demais espécies de dicotiledôneas foi realizada com picloran (*Padron*, 240 g L⁻¹), na dose de 48 g ha⁻¹, para evitar a competição por outras espécies que não foram avaliadas no experimento.

Os dados foram submetidos à ANOVA e, havendo significância no teste F, foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Duncan, a nível de 5% de probabilidade, pelo programa SAS Versão 8.0 (SAS Institute, 2004).

3.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo

O experimento foi conduzido em lavoura comercial de arroz irrigado localizada em Palmares do Sul, RS, infestada com plantas de capim-arroz resistentes, conforme descrito no item 3.2.3. As características da área experimental, os tratos culturais e a aplicação dos herbicidas em pós-emergência foram realizados de acordo com as descrições do item 3.2.3.

A aplicação dos herbicidas em pré-emergência foi realizada no dia oito de novembro de 2010, três dias antes da emergência da cultura e sem plantas daninhas emergidas. A aplicação dos herbicidas em pós-emergência foi realizada do dia seis de dezembro, quando as plantas estavam no estágio de quatro a cinco folhas expandidas,

conforme descrito no item 3.2.3. Durante a aplicação dos herbicidas pré-emergentes, a umidade do ar foi de 60 a 67%, a temperatura entre 23 e 27 °C e a velocidade do vento era de, aproximadamente, 1 km h⁻¹. Durante a aplicação dos herbicidas pós-emergentes, a umidade do ar foi de 65 a 70%, a temperatura variou entre 20 e 26 °C e a velocidade do vento era de, aproximadamente, 1 km h⁻¹.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de 31 herbicidas ou associações entre herbicidas registrados para o controle de capim-arroz no Brasil e com seletividade para arroz irrigado (Tabela 4). As avaliações constaram da intoxicação da cultura aos 28, 39 e 56 dias após os tratamentos em pré-emergência (DAT_{pré}), que correspondem a 0, 11 e 28 dias após o tratamento em pós-emergência (DAT_{pós}); controle em escala visual aos 0, 11, 28, 45, 64 e 100 DAT_{pós} ou 28, 39, 56 73, 92 e 128 DAT_{pré}; número de plantas e plântulas de capim-arroz por metro quadrado aos 28 DAT_{pré}; número de plantas e massa seca do capim-arroz aos 66 DAT_{pré}; e, rendimento de grãos de arroz. As avaliações do número de plantas de capim-arroz foram realizadas em 13 de janeiro de 2011, 38 DAT_{pós}, em 0,5 m² de cada unidade experimental. O rendimento de grãos foi estimado pela colheita de área de 6 m², trilha e limpeza dos grãos. Após, o rendimento de grãos foi corrigido para 13% de umidade. O controle visual foi avaliado pela escala de 0% a 100%, onde zero representa nenhum controle e 100 representa controle total do capim-arroz.

Os dados foram submetidos à ANOVA e, havendo significância no teste F, foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Duncan, a nível de 5% de probabilidade. Estas análises foram realizadas pelo programa SAS Versão 8.0 (SAS Institute, 2004). A análise do efeito das interações entre os herbicidas foi realizada pelo método de Colby (Colby, 1967) e comparadas pelo teste *t*. Nesse método, o efeito das misturas é avaliado pela equação: $E = Y_1 + Y_2(100 - Y_1)/100$, onde E representa o valor

esperado com a associação dos herbicidas e Y_1 e Y_2 os efeitos isolados dos herbicidas. Ainda, foi realizada a análise de correlação linear entre rendimento de grãos e variáveis de controle visual, fitointoxicação e número e massa seca de capim-arroz.

TABELA 4. Tratamentos do experimento com herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Ingrediente Ativo	Produto comercial	Dose (g ha⁻¹)
Clomazone ¹	Gamit 360 SC	792
Clomazone ¹	Gamit Star	800
Pendimethalin ¹	Herbadox	1750
Thiobencarb ¹	Saturn 500 CE	5000
Imazapyr + imazapic ^{2a}	Kifix	105 + 35
Profoxydim ^{3 a}	Aura	120
Profoxydim ^{3 a}	Aura	150
Cyhalofop-butyl ^{3d}	Clincher	360
Quinclorac ^{3e}	Facet	375
Clomazone ³	Gamit Star	400
Propanil + thiobencarb ³	Grassmax	2820 + 1200
Propanil ³	Herbipropanin	3600
Imazapyr + imazapic ^{3a}	Kifix	73,5 + 24,5
Bispyribac-sodium ^{3b}	Nominee 400 SC	50
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	Only	75 + 25
Penoxsulam ^{3c}	Ricer	48
Fenoxaprop-P-ethyl ³	Starice	89,7
Imazethapyr ^{3 a}	Vezir	106
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	Facet + Aura	375 + 120
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	Herbadox + Aura	1750 + 150
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3 e}	Herbadox + Facet	1750 + 375
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	Herbadox + Kifix	1750 + 73,5 + 24,5
Pendimethalin ¹ + imazapyr + imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	Herbadox + Kifix + Aura	1751 + 73,5 + 24,5 + 150
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	Kifix + Aura	105 + 35 + 150
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	Kifix + Facet	105 + 35 + 375
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	Starice + Gamit Star	89,7 + 400
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	Starice + Kifix	89,7 + 73,5 + 24,5
Fenoxaprop ³ + bispyribac-sodium ^{3b}	Starice + Nominee 400 SC	89,7 + 50
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	Starice + Only	89,7 + 75 + 25
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	Starice + Ricer	89,7 + 48
Testemunha	---	---

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, 1 L ha⁻¹.

4 RESULTADOS

Plantas daninhas resistentes a herbicidas reduzem as alternativas de controle químico e aumentam o custo de produção em grande parte das culturas de interesse econômico. Nos Estados do RS e SC, o problema da presença de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS e ao quinclorac em lavouras de arroz irrigado tem aumentado nos últimos anos. Neste trabalho, foram desenvolvidos métodos rápidos de discriminação entre biótipos de capim-arroz resistentes e suscetíveis a imidazolinonas em diferentes estádios de desenvolvimento, para proporcionar a produtores e técnicos métodos para identificação da ocorrência da resistência e para escolha do herbicida correto em momento adequado para sua aplicação. Além disso, procurou-se identificar o mecanismo de resistência destes biótipos para entender a rápida evolução da resistência aos herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac e as possíveis consequências para controle químico com herbicidas alternativos. Por último, a identificação das melhores formas de controle em pré e pós-emergência de biótipos resistentes em situações de lavoura proporcionará a adoção de medidas eficientes como forma de prevenção e de controle da evolução da resistência a herbicidas em capim-arroz em lavouras de arroz irrigado no Brasil.

4.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas

O controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas inicia com o diagnóstico do problema. Para isso, foram desenvolvidos experimentos para diagnóstico da resistência em três estádios de desenvolvimento do capim-arroz: sementes, plântulas e perfilhamento. A determinação das concentrações discriminantes entre biótipos de capim-arroz resistentes e suscetíveis a imidazolinonas foi realizada por curvas dose-resposta para os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic. A concentração discriminante foi a que apresentou maior diferença nos parâmetros avaliados entre biótipos resistentes e suscetíveis para cada um dos três estádios de desenvolvimento e para os dois herbicidas avaliados.

4.1.1 Experimento com embebição de sementes

A identificação da resistência de plantas daninhas no estágio de sementes possibilita o planejamento do controle químico dessas espécies após a colheita de sementes das plantas que escaparam do controle. Para isto, desenvolveu-se bioensaios avaliando a ação dos herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic sobre a germinação e o crescimento radicular de sementes após 24 horas de embebição em relação à testemunha não tratada, para os biótipos resistentes e suscetíveis.

Neste experimento, a germinação não foi fator discriminante entre biótipos resistentes e suscetíveis tanto para o herbicida imazethapyr (Figura 6A, Tabela 5) como para os herbicidas imazethapyr + imazapic (Figura 6B, Tabela 5). As concentrações de 0 a 0,1 mM do herbicida não afetaram a germinação de sementes dos biótipos avaliados com a aplicação dos herbicidas testados. Na concentração de 100 mM, as sementes dos biótipos resistentes e suscetíveis não germinaram quando tratadas com o herbicida

imazethapyr e apresentaram germinação de aproximadamente 15% em relação à testemunha quando tratadas com os herbicidas imazapyr + imazapic. O fator de resistência (FR) entre o biótipo resistente e o suscetível não foi significativo para ambos herbicidas nas análises de germinação (Tabela 5).

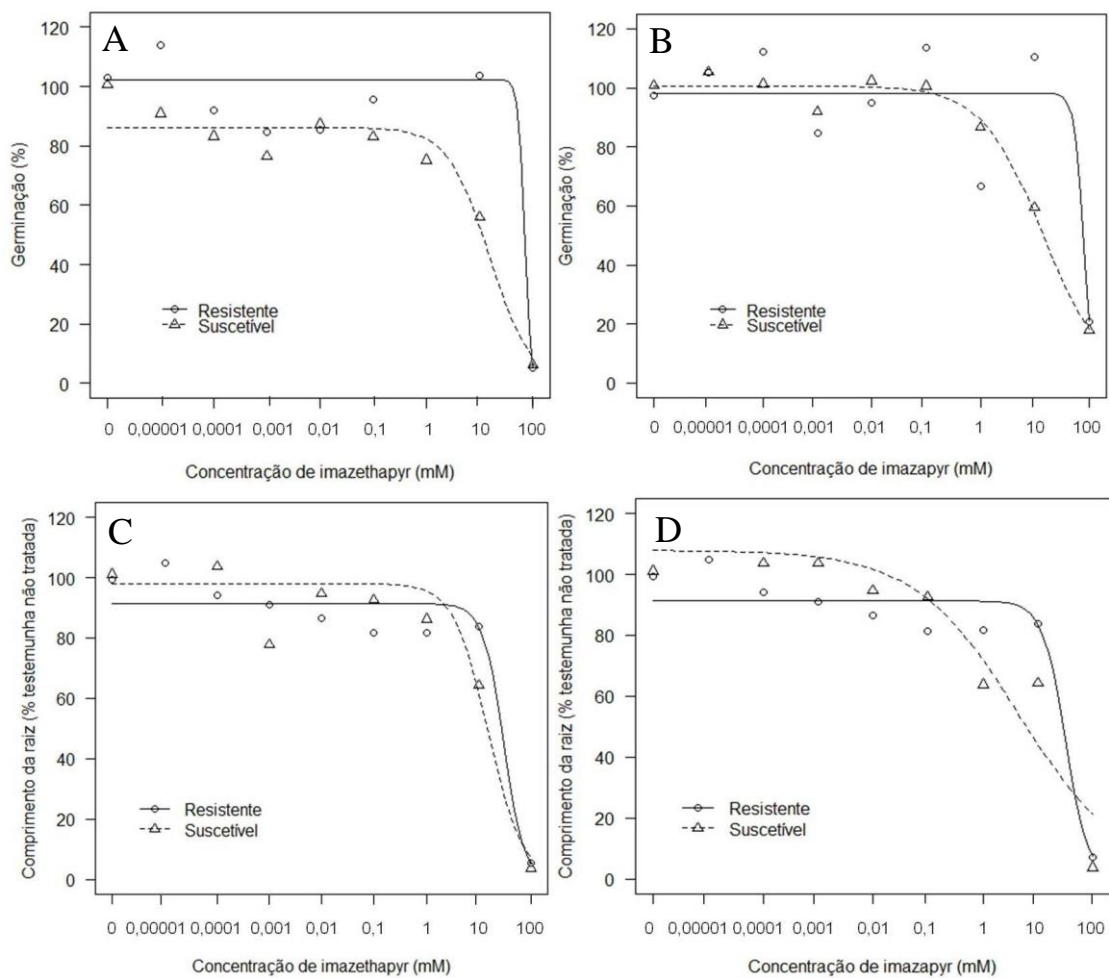


FIGURA 6. Germinação de sementes (A e B) e comprimento de raiz (C e D) de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A e C) e imazapyr + imazapic (B e D), no bioensaio com embebição de sementes. Equações na Tabela 5.

O crescimento de raiz também não foi um fator discriminante entre biótipos resistente e suscetível para o herbicida imazethapyr (Figura 6C, Tabela 5) e para os

herbicidas imazapyr + imazapic (Figura 6D, Tabela 5). Assim como na análise de germinação, o FR não foi significativo na avaliação do comprimento de raiz.

TABELA 5. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis germinação e comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio com embebição de sementes.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	GR ₅₀ ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
Germinação						
----- Imazethapyr -----						
Resistente	7,28 ^{NS}	102,21**	67,18 ^{NS}	(-474,09; 609,28)	4,53 ^{NS}	(-32,07; 41,13)
Suscetível	1,13 ^{NS}	86,14**	14,85*	(5,71; 23,99)		
----- Imazapyr + imazapic -----						
Resistente	5,08 ^{NS}	98,10**	77,65*	(19,98; 135,32)	5,47 ^{NS}	(0,46; 10,48)
Suscetível	0,77**	100,62**	14,19**	(6,61; 21,75)		
Comprimento da raiz						
----- Imazethapyr -----						
Resistente	2,23*	91,31**	29,33 ^{NS}	(5,18; 53,46)	1,94 ^{NS}	(0,08; 3,80)
Suscetível	1,33 ^{NS}	98,08**	15,15**	(7,65; 22,65)		
----- Imazapyr + imazapic -----						
Resistente	2,10*	91,26**	31,41*	(9,98; 52,84)	6,93 ^{NS}	(-0,78; 14,64)
Suscetível	0,46**	107,93**	4,53 ^{NS}	(0,56; 8,51)		

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; G_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de redução no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = GR₅₀ do biótipo resistente/ GR₅₀ do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

As variáveis analisadas no bioensaio de sementes não foram discriminadoras da resistência de capim-arroz por não haver diferença entre o FR dos biótipos resistente e suscetível (Tabela 5). A resposta dos biótipos analisados em relação ao aumento da concentração dos herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic no bioensaio de sementes pode ser visualizada nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

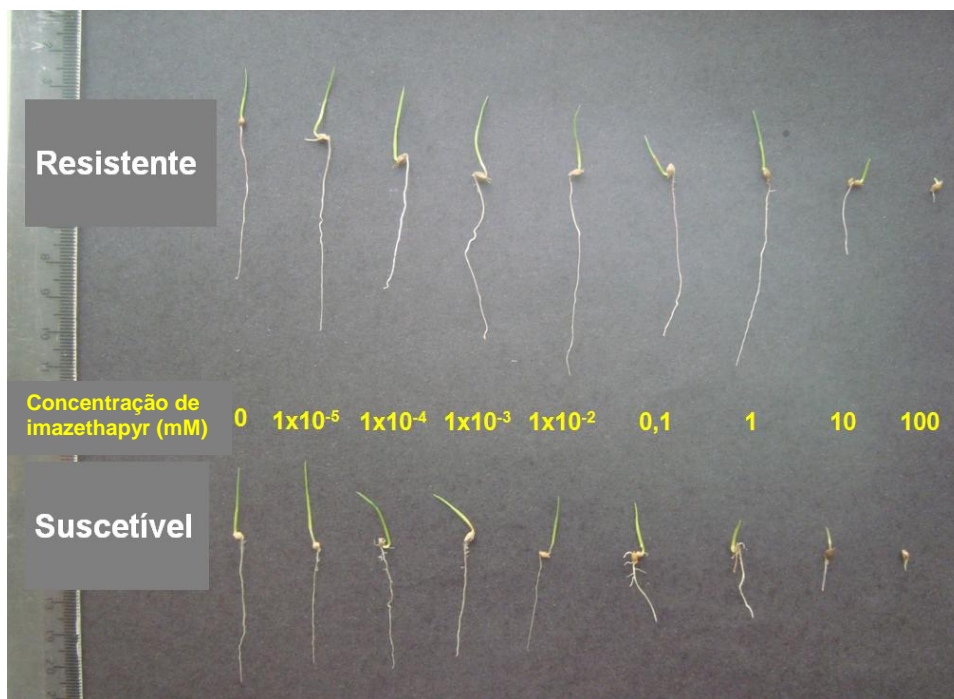


FIGURA 7. Ilustração do efeito de concentrações de imazethapyr no comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS, no bioensaio com embebição de sementes.

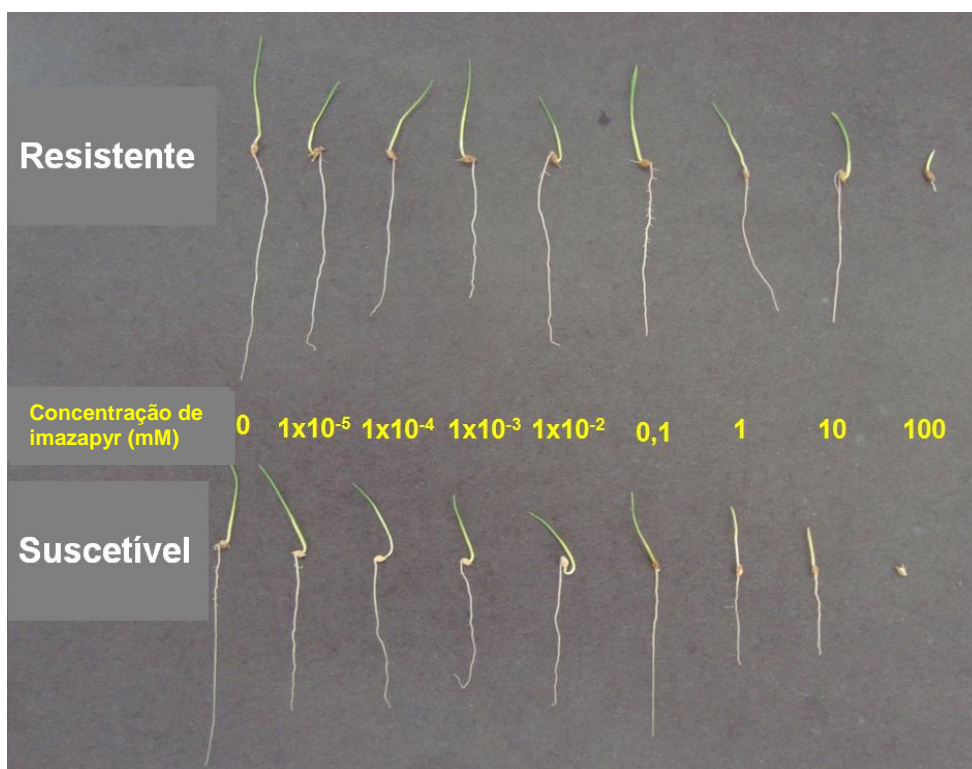


FIGURA 8. Ilustração do efeito de concentrações de imazapyr + imazapic no comprimento de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS, no bioensaio com embebição de sementes.

4.1.2 Experimento com plântulas

O experimento com plântulas possibilita a identificação da resistência de capim-arroz antes do momento da aplicação dos herbicidas. Para isso, foram desenvolvidos bioensaios com plântulas de capim-arroz resistente e suscetível embebidas em solução contendo os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic, incubadas por um período de sete dias. O controle visual, avaliado aos quatro dias após a embebição, não foi variável discriminante da resistência para os herbicidas imazethapyr (Figura 9A, Tabela 6) e imazapyr + imazapic (Figura 9B, Tabela 6). O FR entre os biótipos resistente e suscetível não foi significativo, inviabilizando o diagnóstico de resistência.

As variáveis controle visual e variação da massa fresca, avaliadas aos 7 DAT, foram eficazes para identificação da resistência de capim-arroz aos herbicidas imazethapyr (Figuras 9C e 10A, Tabela 6 e 7) e imazapyr + imazapic (Figuras 9D e 10B, Tabelas 6 e 7). A concentração que melhor discriminou a resistência foi a de 0,001 mM para ambos herbicidas avaliados. O FR entre os biótipos resistente e suscetível foi de 255 para a variável controle visual e em 1.288 para a variação do crescimento relativo de capim-arroz no caso do herbicida imazethapyr, nas avaliações realizadas 7 dias após a embebição (Tabelas 6 e 7). Para os herbicidas imazapyr + imazapic, o fator de resistência foi de 1.480 e 5.585, para as mesmas variáveis (Tabelas 6 e 7).

A concentração necessária para controle de 50% das plântulas foi inferior para os herbicidas imazapyr + imazapic do que para o herbicida imazethapyr para o biótipo suscetível. O maior fator de resistência observado para os herbicidas imazapyr + imazapic foi principalmente pelo menor C_{50} ou GR_{50} do biótipo suscetível para ambas variáveis analisadas, o que proporcionou a maior variação entre biótipos (Tabelas 6 e 7).

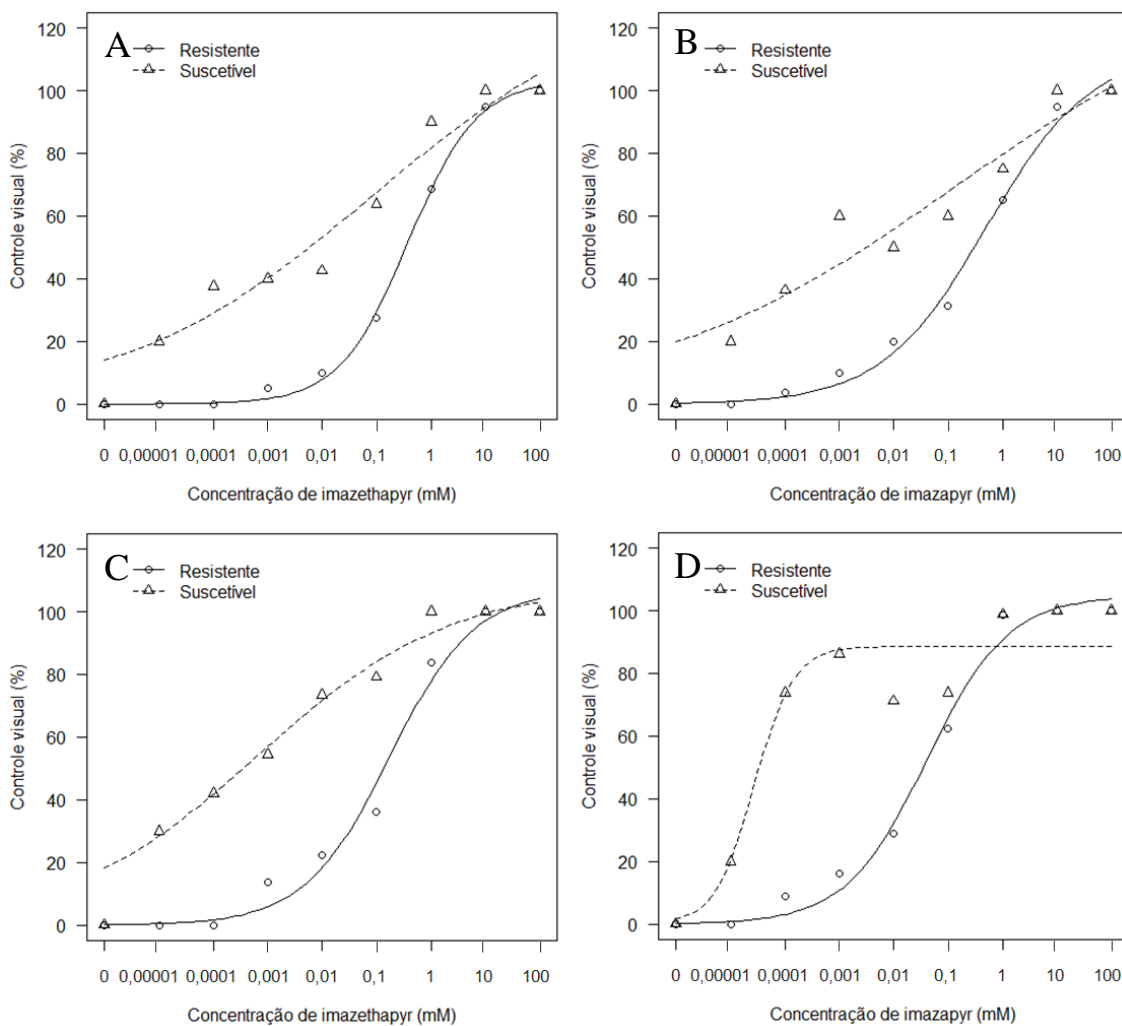


FIGURA 9. Controle visual (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A e C) e imazapyr + imazapic (B e D), aos 4 (A e B) e aos 7 DAT (C e D), no bioensaio com plântulas. Equações na Tabela 6.

TABELA 6. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 e 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio de plântulas.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
Quatro dias após a embebição das sementes						
----- Imazethapyr -----						
Resistente	-0,69 **	103,41 **	0,38 **	(0,28; 0,48)	4,28 ^{NS}	(-2,14; 10,70)
Suscetível	-0,19 **	133,41 **	0,09 ^{NS}	(-0,05; 0,21)		
----- Imazapyr + imazapic -----						
Resistente	-0,45 **	112,76 **	0,50 *	(0,20; 0,80)	4,01 ^{NS}	(-5,06; 13,07)
Suscetível	-0,15 **	137,88 **	0,12 ^{NS}	(-0,15; 0,39)		
Sete dias após a embebição das sementes						
----- Imazethapyr -----						
Resistente	-0,56 **	107,23 **	0,17 **	(0,11; 0,23)	254,89*	(60,75; 449,02)
Suscetível	-0,25 **	108,72 **	0,0006 *	(-0,0002; 0,001)		
----- Imazapyr + imazapic -----						
Resistente	-0,58 **	104,82 **	0,04 *	(0,02; 0,06)	1479,6*	(656,63; 2302,56)
Suscetível	-1,21 **	88,61 **	0,000027 **	(0,00002; 0,000035)		

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do biótipo resistente/ C_{50} do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

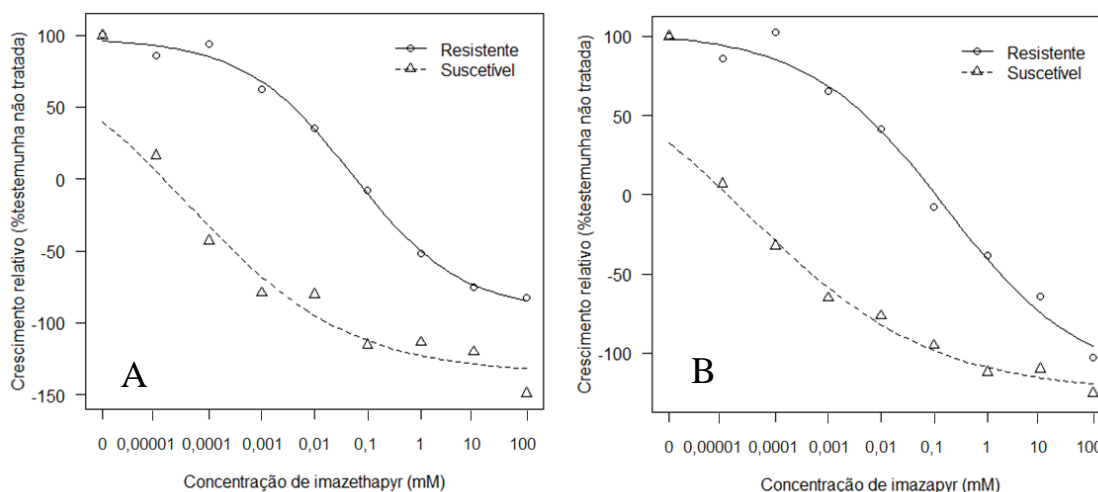


FIGURA 10. Crescimento relativo da massa fresca (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A) e imazapyr + imazapic (B), aos 7 DAT, no bioensaio com plântulas. Equações na Tabela 7.

TABELA 7. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável crescimento relativo da massa fresca em comparação à testemunha não tratada de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio de plântulas.

Biótipo	$b^{\underline{1}}$	$c^{\underline{2}}$	$d^{\underline{3}}$	$GR_{50}^{\underline{4}}$		Fator de resistência	
				Concentração ^{$\underline{5}$}	IC ^{$\underline{6}$} 95%	FR ^{$\underline{7}$}	IC ^{$\underline{6}$} 95%
----- Imazethapyr -----							
Resistente	0,42 **	-91,74 **	97,68 **	0,05 *	(0,019; 0,08)	1288,35**	(248,6; 2328,09)
Suscetível	0,28 **	-135,40 **	100,99 **	0,0039 **	(0,00002; 0,00006)		
----- Imazapyr + imazapic -----							
Resistente	0,33**	-119,04 **	102,66 **	0,16 *	(0,064; 0,26)	5584,50**	(1630,87; 9538,13)
Suscetível	0,25**	-124,69 **	100,43 **	0,00003 **	(0,000019; 0,00004)		

$b^{\underline{1}}$ Declividade da curva; $c^{\underline{2}}$ Limite inferior; $d^{\underline{3}}$ Limite superior; $GR_{50}^{\underline{4}}$ Concentração do herbicida que causa 50% de redução do fator analisado; $\underline{5}$ Concentração em mM; IC ^{$\underline{6}$} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR ^{$\underline{7}$} fator de resistência = GR_{50} do biótipo resistente/ GR_{50} do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A resposta dos biótipos analisados em relação ao aumento da concentração dos herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic no bioensaio de plântulas, assim como a concentração que melhor discrimina a resistência são apresentadas nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

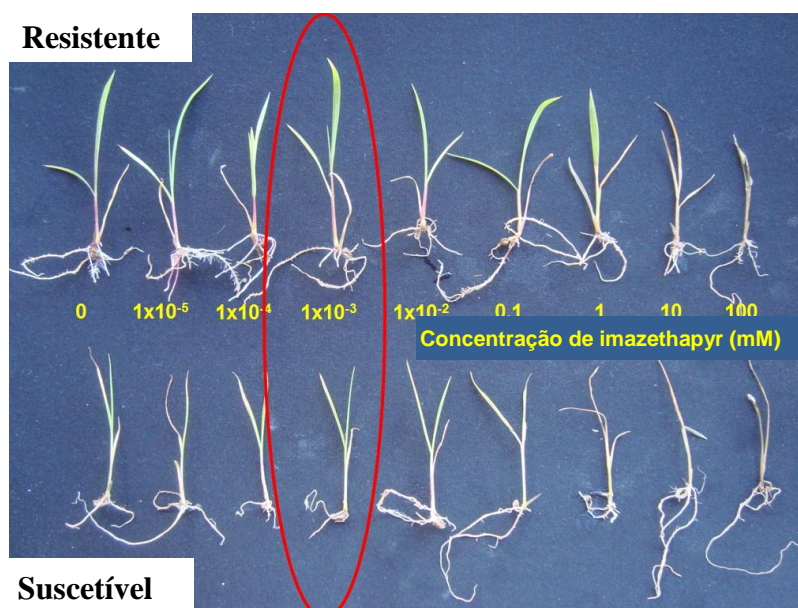


FIGURA 11. Ilustração do efeito das concentrações de imazethapyr no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com plântulas.

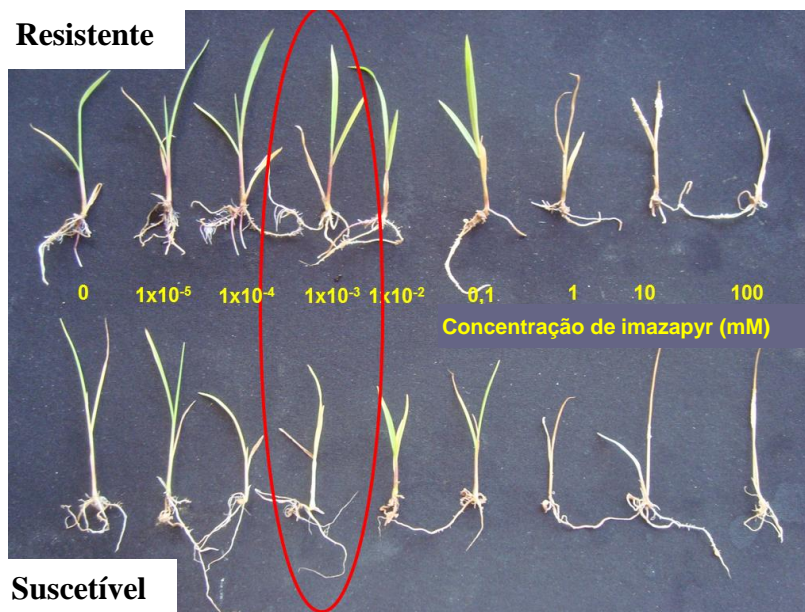


FIGURA 12. Ilustração do efeito das concentrações de imazapyr + imazapic no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com plântulas.

4.1.3 Experimento com perfilhos

O bioensaio de perfilhos possibilita a identificação da resistência de capim-arroz em plantas com controle ineficiente. Assim, foram desenvolvidos bioensaios com perfilhos de capim-arroz resistente e suscetível embebidas em solução contendo os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic por um período de sete dias.

A variável massa seca de raiz foi significativa para discriminar a resistência aos herbicidas imazethapyr (Figura 13A, Tabela 8) e imazapyr + imazapic (Figura 13B, Tabela 8). A concentração que melhor discriminou a resistência foi de 0,0001 mM para ambos herbicidas. O fator de resistência entre os biótipos avaliados foi de 47 e 89 para os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic, respectivamente. Assim como no bioensaio de plântulas, o FR foi maior no experimento com os herbicidas imazapyr + imazapic do que com herbicida imazethapyr.

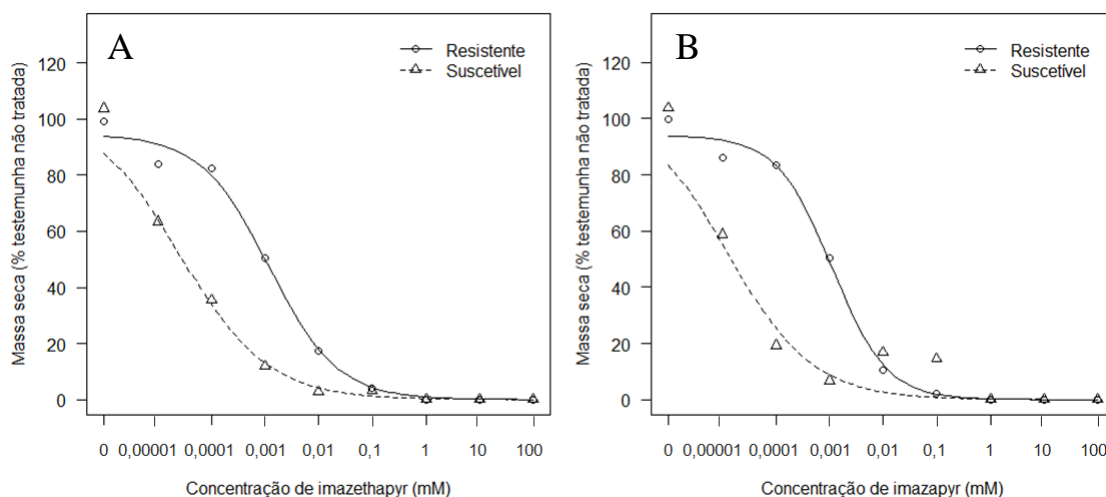


FIGURA 13. Redução da massa seca de raiz (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações dos herbicidas imazethapyr (A) e imazapyr + imazapic (B), aos 7 DAT, no bioensaio com perfilhos. Equações na Tabela 8.

TABELA 8. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável redução da massa seca de raiz de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de imazethapyr e imazapyr + imazapic, no bioensaio com perfilhos.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	GR ₅₀ ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- Imazethapyr -----						
Resistente	0,68 **	94,53 **	0,00119 **	(0,00076; 0,0016)	47,23 **	(23,85; 70,59)
Suscetível	0,53 **	103,63 **	0,000025 **	(0,000017; 0,000034)		
----- Imazapyr + imazapic -----						
Resistente	0,85 **	93,96 **	0,0011 *	(0,0004; 0,0018)	88,93 *	(22,35; 155,50)
Suscetível	0,55 *	104,33 **	0,000013 **	(0,000007; 0,000017)		

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; GR₅₀^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de redução do fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = GR₅₀ do biótipo resistente/ GR₅₀ do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A resposta dos biótipos analisados em relação ao aumento da concentração do herbicida imazethapyr e dos herbicidas imazapyr + imazapic no experimento com perfilhos, e a concentração que melhor discrimina a resistência podem ser visualizada nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

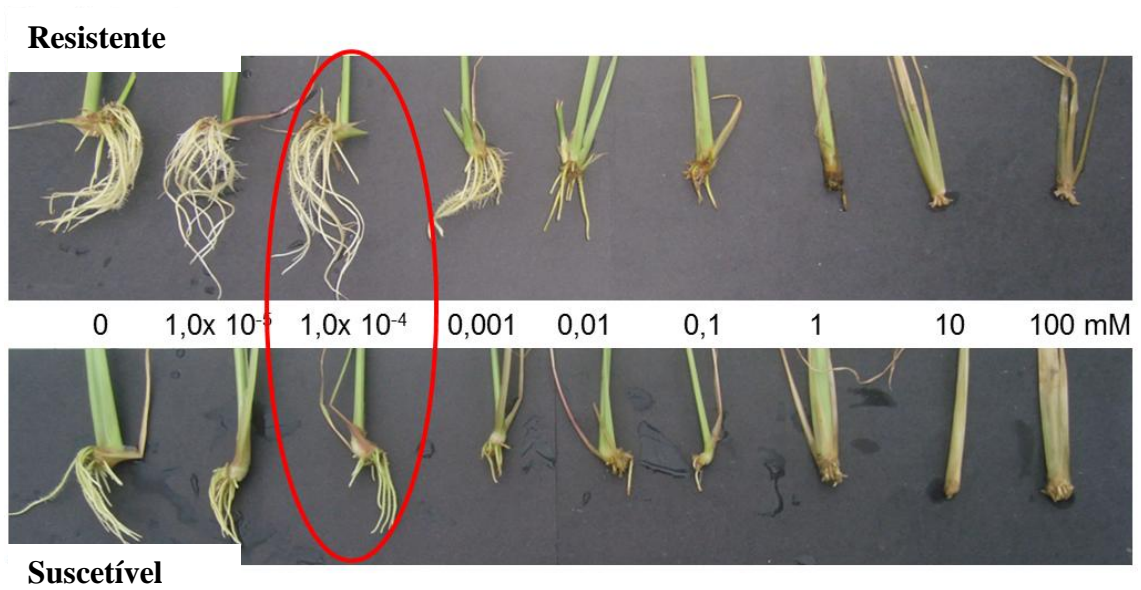


FIGURA 14. Ilustração do efeito de concentrações de imazethapyr no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com perfilhos.



FIGURA 15. Ilustração do efeito de concentrações de imazapyr + imazapic no controle de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS e da concentração que melhor discrimina a resistência, circulada em vermelho, no bioensaio com perfilhos.

4.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS

A metabolização de herbicidas é um dos mecanismos mais importantes para a tolerância natural de plantas e também para a evolução da resistência a estes compostos. Uma das técnicas utilizadas para identificação deste processo é a utilização de inibidores de metabolização como forma de minimizar a expressão de enzimas detoxificantes e, com isso, reduzir o fator de resistência. Deste modo, foram realizados três experimentos cujos resultados são descritos abaixo.

4.2.1 Experimento em casa de vegetação com aspersão foliar

4.2.1.1 Imazethapyr

Verificou-se interação significativa entre os fatores destacados para as variáveis controle visual, avaliado aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e para massa seca da parte aérea aos 28 DAT (Apêndice 2). Assim, será apresentada inicialmente a comparação entre oito biótipos de capim-arroz em relação ao aumento da dose de imazethapyr nas quatro épocas de avaliação e na avaliação de massa seca. Posteriormente, será apresentado o efeito de malathion, aplicado previamente, no controle dos diferentes biótipos de capim-arroz aos 14 DAT, que foi a avaliação que proporcionou melhor análise do efeito do malathion no controle de capim-arroz pela maior significância dos parâmetros da curva de dose-resposta.

O comparativo entre biótipos aos 7 DAT não foi eficiente para discriminar a resistência (Figura 16A; Tabela 9). Nessa avaliação, o ajuste pela equação logística de três parâmetros para o biótipo suscetível SUSSP01 não proporcionou a obtenção de significância do parâmetro C_{50} , o que inviabilizou a análise comparativa entre este e os demais biótipos resistentes. A avaliação do controle visual aos 14 DAT resultou em C_{50}

significativo para todos os biótipos analisados (Figura 16B; Tabela 9). Nesta avaliação, a análise comparativa do intervalo de confiança do C_{50} confirmou a resistência de cinco dos seis biótipos classificados como resistente anteriormente. A resistência do biótipo RIOGR01 a imazethapyr não foi confirmada nessa avaliação. Isso ocorreu porque o intervalo de confiança do parâmetro C_{50} não diferiu do intervalo de confiança do padrão suscetível SUSSP01 (Tabela 9). O biótipo MOSTS01 foi três vezes mais suscetível que o padrão SUSSP01. Os demais biótipos resistentes PALMS01, ARRGR01, CAMAQ01, PALMS02 e BAGE001 apresentaram variação do fator de resistência entre 3,10 e 12,84.

Nas avaliações de controle visual aos 21 e 28 DAT e na avaliação de massa seca da parte aérea aos 28 DAT foram observados aumento de casos de biótipos com parâmetros C_{50} ou GR_{50} não significativos (Figuras 16C,D e 17; Tabela 9). A ausência de significância dificultou a análise comparativa entre os biótipos resistentes e o suscetível e a confiabilidade do fator de resistência entre as mesmas nestas avaliações.

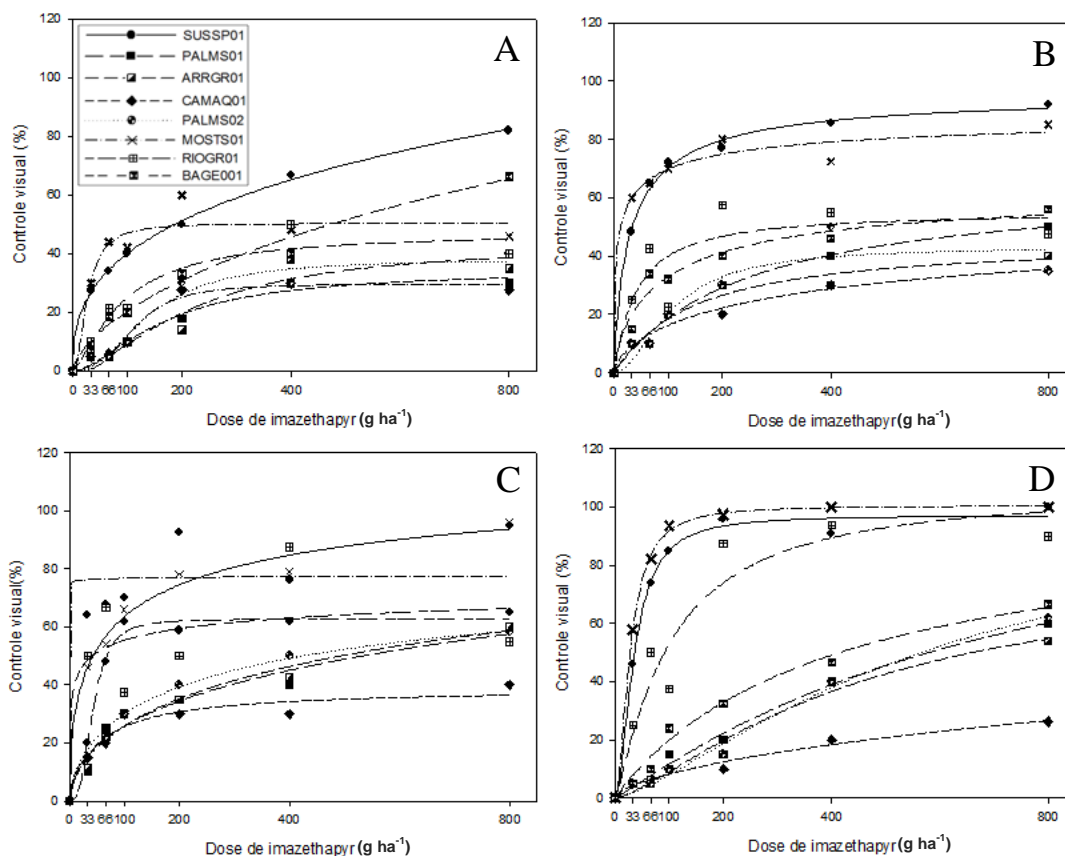


FIGURA 16. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 DAT (D), no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 9.

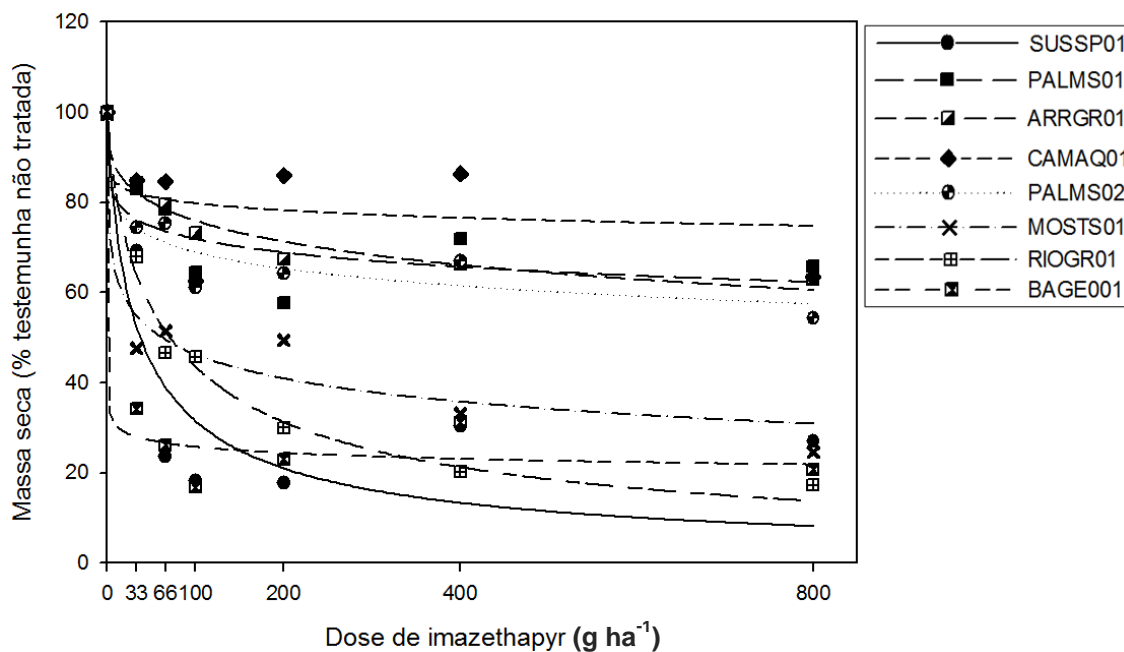


FIGURA 17. Redução da massa seca da parte aérea (%) de oito biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes doses de imazethapyr, aos 28 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 9.

TABELA 9. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de imazethapyr, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- 7 DAT -----					
SUSSP01	-0,38 ^{NS}	626,42 ^{NS}	108835,17 ^{NS}	(-2710213,00; 2927882,86)	
PALMS01	-1,65**	34,18**	170,11**	(139,36; 200,86)	0,0016
ARRGR01	-3,03*	29,72**	113,30**	(87,08; 139,52)	0,0012
CAMAQ01	-1,65**	43,42**	223,64**	(113,80; 333,48)	0,0021
PALMS02	-2,20**	38,27**	140,56**	(122,49; 158,61)	0,0013
MOSTS01	-2,06**	50,36**	27,56**	(21,04; 34,08)	0,0003
RIOGR01	-1,36**	47,37**	92,34**	(47,52; 137,16)	0,0008
BAGE001	-0,66**	249,91 ^{NS}	3786,60 ^{NS}	(-22058,10; 29631,26)	0,0348
----- 14 DAT -----					
SUSSP01	-0,84**	96,50**	31,04**	(24,57; 37,51)	
PALMS01	-1,00**	65,23**	246,55**	(179,57; 313,55)	7,94
ARRGR01	-1,03**	45,56**	144,50**	(93,11; 195,89)	4,66
CAMAQ01	-0,67**	57,55**	398,63*	(239,63; 557,63)	12,84
PALMS02	-1,85**	43,20**	107,00**	(84,76; 129,24)	3,45
MOSTS01	-0,47**	92,63 ^{NS}	9,16*	(3,57; 14,74)	0,30
RIOGR01	-1,07*	55,39**	41,23*	(7,53; 74,95)	1,33
BAGE001	-0,76*	64,90*	96,26*	(66,14; 126,38)	3,10
----- 21 DAT -----					
SUSSP01	-0,52 ^{NS}	123,73*	90,61 ^{NS}	(-155,84; 337,04)	
PALMS01	-0,50**	170,33**	3031,44 ^{NS}	(-11680,60; 17743,49)	34,56
ARRGR01	-0,58**	124,06 ^{NS}	960,66 ^{NS}	(-2209,66; 4130,98)	10,60
CAMAQ01	-0,95**	39,11**	51,13**	(36,87; 65,39)	0,56
PALMS02	-0,64**	89,09**	288,86 ^{NS}	(31,33; 546,39)	3,19
MOSTS01	-0,01 ^{NS}	107,97 ^{NS}	2,14 ^{NS}	(-4,32; 8,60)	0,02
RIOGR01	-0,32 ^{NS}	86,34 ^{NS}	12,68 ^{NS}	(-224,95; 250,31)	0,14
BAGE001	-2,97**	62,69**	42,91**	(32,88; 52,94)	0,47
----- 28 DAT -----					
SUSSP01	-1,85**	97,25**	35,08**	(31,14; 38,99)	
PALMS01	-1,08**	118,64**	776,44*	(185,85; 1367,03)	22,13
ARRGR01	-1,36**	79,76**	450,74**	(215,56; 685,92)	12,85
CAMAQ01	-0,62**	161,72**	10792,63 ^{NS}	(-58387,00; 79972,23)	307,66
PALMS02	-1,39**	103,01**	587,48**	(375,22; 799,75)	16,75
MOSTS01	-1,84**	100,58**	28,06**	(24,80; 31,32)	0,80
RIOGR01	-1,21 ^{NS}	106,51**	101,02 ^{NS}	(14,35; 187,69)	2,88
BAGE001	-0,98 ^{NS}	100,29 ^{NS}	416,89 ^{NS}	(-842,31; 1676,09)	11,88

continuação. TABELA 9. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de imazethapyr, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	GR_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- Massa seca da parte aérea -----					
SUSSP01	0,7 ^{NS}	101,17**	36,48 ^{NS}	(-9,93; 82,89)	
PALMS01	0,21 ^{NS}	100,12**	8575,94 ^{NS}	(-52102,50; 69254,36)	235,09
ARRGR01	0,34 ^{NS}	100,35**	2680,84 ^{NS}	(-5941,01; 11302,69)	73,49
CAMAQ01	0,13 ^{NS}	99,98**	2243209,54 ^{NS}	(-177114,00; 4663532,98)	61491,48
PALMS02	0,24 ^{NS}	99,90**	2844,23 ^{NS}	(-12235,80; 17924,27)	77,97
MOSTS01	0,32 ^{NS}	99,06**	66,02 ^{NS}	(-113,44; 245,48)	1,81
RIOGR01	0,76*	100,17**	70,56*	(16,52; 124,60)	1,93
BAGE001	0,10 ^{NS}	100,14**	0,0036 ^{NS}	(-0,23; 0,24)	0,0001

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Dose do herbicida imazethapyr que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Dose em g ha⁻¹; IC ^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR ^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo avaliado/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo suscetível SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A aplicação prévia de malathion reduziu o fator de resistência em dois biótipos (Figura 18B,D; Tabela 10). O FR dos biótipos PALMS01 e CAMAQ01 foi reduzido 1,46 e 2,62 vezes após a aplicação de malathion. Considerando o fator de resistência na mesma avaliação entre esses biótipos e o padrão suscetível SUSSP01, o uso do inibidor de metabolização malathion diminuiu o fator de resistência a imazethapyr dos biótipos PALMS01 e CAMAQ01 em 18,4 e 20,4%, respectivamente. Nos demais biótipos analisados, a aplicação de malathion não proporcionou o mesmo efeito no controle de capim-arroz. Nesses casos, o FR entre o ajuste da curva controle e da curva que representa a aplicação prévia do malathion não foi significativo pela não distinção entre os intervalos de confiança dos C_{50} .

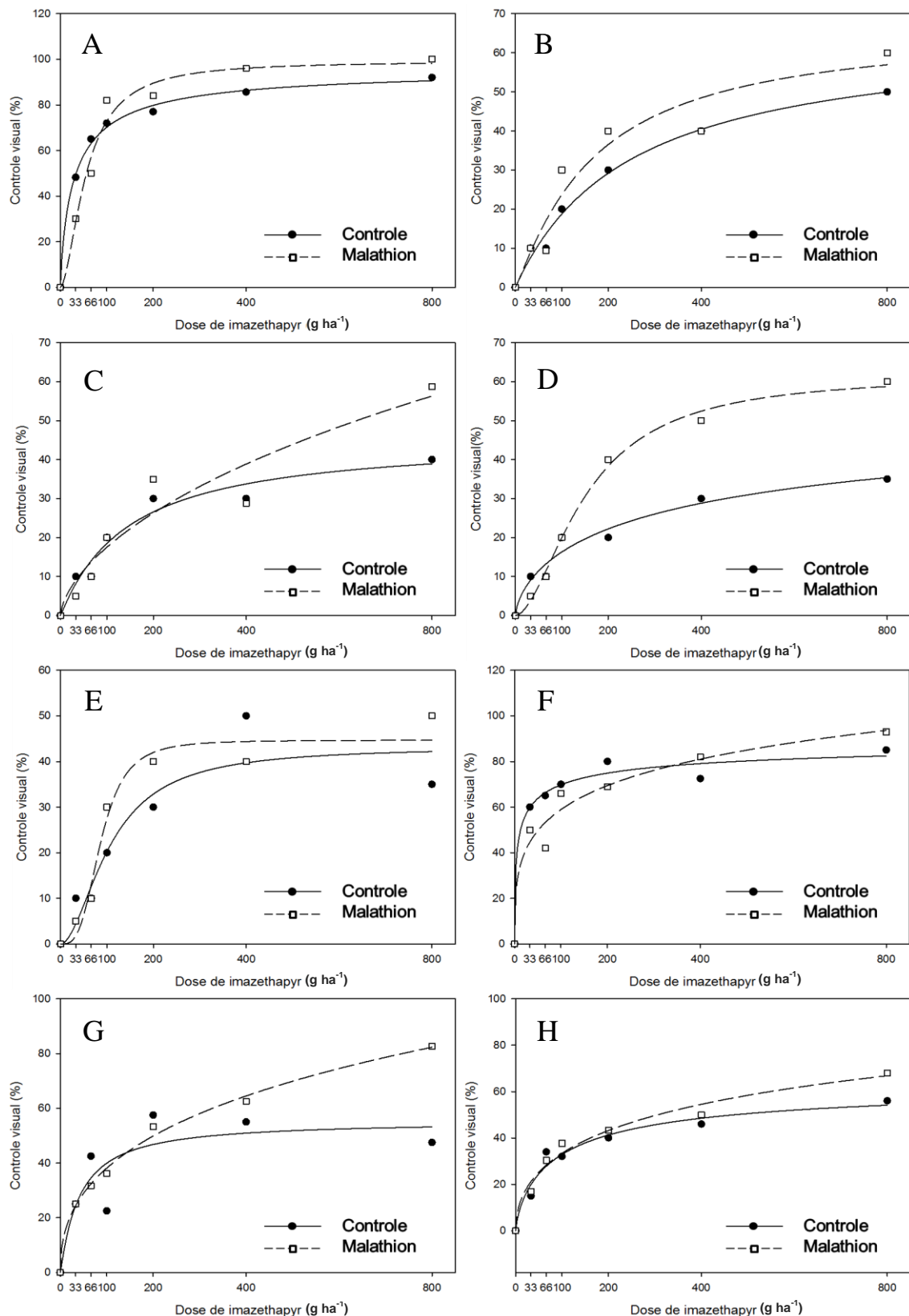


FIGURA 18. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H) de capim-arroz em função de diferentes doses de imazethapyr, com aplicação prévia de malathion, aos 14 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 10.

TABELA 10. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes doses de imazethapyr, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- SUSSP01 -----					
Controle	-0,84**	96,50**	31,04**	(24,57; 37,51)	0,56
Malathion	-1,75**	99,17**	55,83**	(47,86; 63,79)	
----- PALMS01 -----					
Controle	-1,00**	65,23**	246,55**	(179,57; 313,55)	1,46
Malathion	-1,14**	66,69**	168,99**	(159,11; 178,87)	
----- ARRGR01 -----					
Controle	-1,03**	45,56**	144,50**	(93,11; 195,89)	0,02
Malathion	-0,63**	322,87 ^{NS}	9579,35 ^{NS}	(-95041,00; 114199,67)	
----- CAMAQ01 -----					
Controle	-0,67**	57,55**	398,63*	(239,63; 557,63)	2,62
Malathion	-1,77**	61,84**	152,07**	(144,68; 159,46)	
----- PALMS02 -----					
Controle	-1,85**	43,20**	107,00**	(84,76; 129,24)	1,23
Malathion	-3,29**	44,67**	86,82**	(81,49; 92,15)	
----- MOSTS01 -----					
Controle	-0,47**	92,63 ^{NS}	9,16*	(3,57; 14,74)	0,002
Malathion	-0,31 ^{NS}	258,21 ^{NS}	4809,60 ^{NS}	(-86686,30; 96305,50)	
----- RIOGR01 -----					
Controle	-1,07*	55,39**	41,23*	(7,53; 74,95)	0,009
Malathion	-0,44**	361,23**	12756,75 ^{NS}	(-903089,60; 115846,36)	
----- BAGE001 -----					
Controle	-0,76*	64,90*	96,26*	(66,14; 126,38)	0,09
Malathion	-0,51 ^{NS}	144,21 ^{NS}	1069,13 ^{NS}	(-5793,42; 7931,87)	

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Dose do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; $Dose$ ^{4/} Dose em g ha⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do biótipo sem inibidor/ C_{50} do biótipo aspergido previamente com malathion.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.1.2 Quinclorac

Verificou-se interação significativa dos fatores testados para a variável controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT (Apêndice 2). Na avaliação da massa seca de parte aérea aos 28 DAT, não foi significativa a interação dos fatores dose, inibidor e biótipo, somente o efeito isolado de cada fator. Desta forma, inicialmente serão apresentados os efeitos nas diferenças entre biótipos em relação ao aumento de dose de quinclorac nas diferentes avaliações. Após, será apresentado o efeito da aplicação prévia de malathion

aos 14 DAT, por ser a avaliação que melhor representou o efeito dos tratamentos realizados pela maior significância dos parâmetros.

Na avaliação aos 7 DAT foi possível discriminar a resistência do biótipo ARRGR01 em relação ao suscetível SUSSP01 pelo fator de resistência (FR) e pelo intervalo de confiança dos C_{50} (Figura 19A; Tabela 11). Nessa avaliação, o FR entre o biótipo ARROGR01 e o SUSSP01 foi de 2,59. Os demais biótipos analisados não diferiram do padrão suscetível SUSSP01.

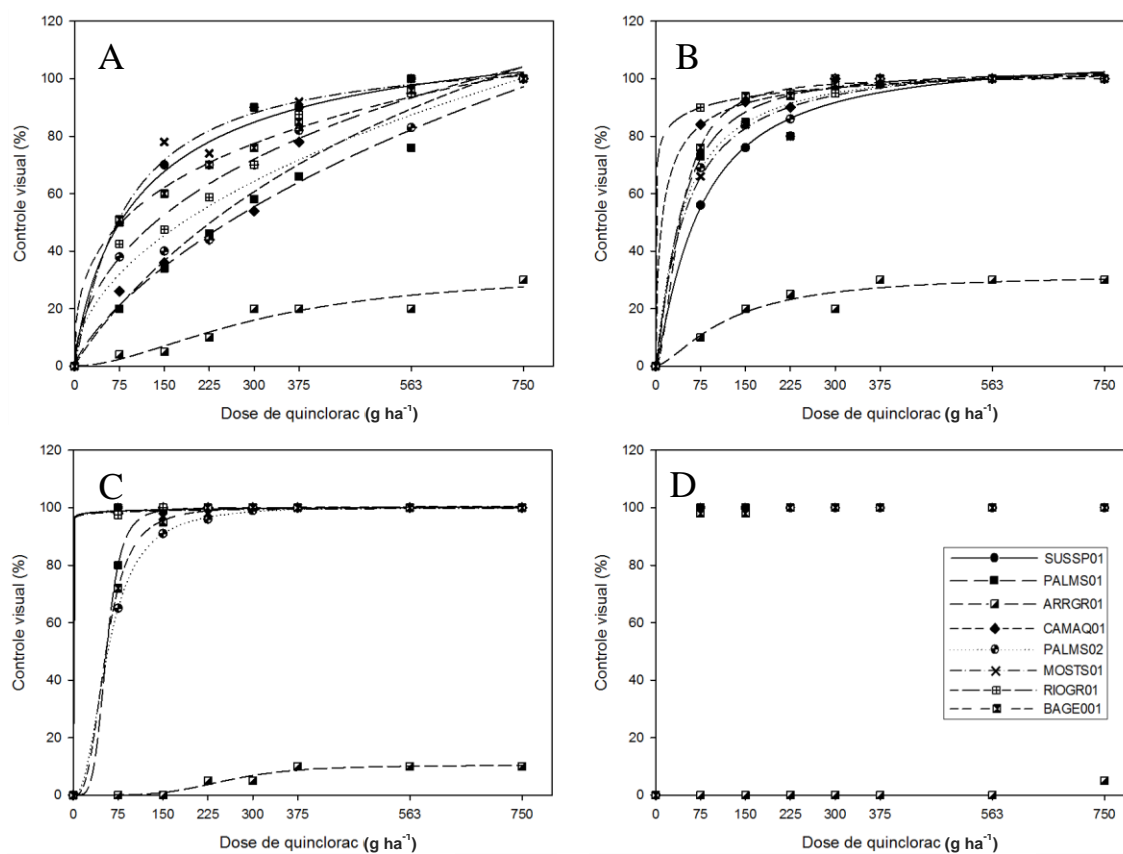


FIGURA 19. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes doses de quinclorac, aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 DAT (D), no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 11.

TABELA 11. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de quinclorac, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- 7 DAT -----					
SUSSP01	-0,85**	124,24**	121,13**	(80,97; 161,29)	
PALMS01	-0,77**	359,54 ^{NS}	2705,83 ^{NS}	(-4246,17; 9657,83)	22,34
ARRGR01	-1,80**	33,26**	313,42**	(167,41; 459,43)	2,59
CAMAQ01	-0,92**	225,76 ^{NS}	886,89 ^{NS}	(-678,85; 2452,63)	7,32
PALMS02	-0,53*	968,90 ^{NS}	44397,14 ^{NS}	(-955145,00; 1043939,50)	366,53
MOSTS01	-1,08**	110,58**	85,29**	(63,56; 107,03)	0,70
RIOGR01	-0,57**	298,28 ^{NS}	2236,84 ^{NS}	(-9885,65; 14359,33)	18,67
BAGE001	-0,3*	424,02 ^{NS}	15627,44 ^{NS}	(-204816,00; 236070,41)	129,04
----- 14 DAT -----					
SUSSP01	-1,19**	108,76**	73,20**	(53,20; 93,20)	
PALMS01	-1,33**	103,78**	40,35**	(34,83; 45,87)	0,55
ARRGR01	-1,49**	32,21**	119,89**	(100,33; 139,44)	1,64
CAMAQ01	-0,72 ^{NS}	106,51**	12,13 ^{NS}	(-5,46; 29,72)	0,17
PALMS02	-1,10**	106,55**	44,19**	(31,37; 57,37)	0,60
MOSTS01	-1,10*	107,28**	49,59**	(34,39; 64,79)	0,68
RIOGR01	-0,20 ^{NS}	127,16**	0,94 ^{NS}	(-6,33; 8,21)	0,01
BAGE001	-1,88**	100,46**	40,77**	(27,32; 54,22)	0,56
----- 21 DAT -----					
SUSSP01	-	-	-	-	
PALMS01	-4,62**	100,04**	55,58**	(52,51; 58,65)	NS
ARRGR01	-4,35**	10,37**	258,09**	(242,99; 273,20)	NS
CAMAQ01	-0,03 ^{NS}	131,38 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	(-0,002; 0,003)	NS
PALMS02	-2,36**	100,61**	58,12**	(52,95; 63,29)	NS
MOSTS01	-0,02 ^{NS}	132,73 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	(-0,0014; 0,0022)	NS
RIOGR01	-0,03 ^{NS}	126,02 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	(-0,005; 0,005)	NS
BAGE001	-2,96**	100,42**	54,85**	(49,67; 60,03)	NS
----- Massa seca parte aérea -----					
SUSSP01	0,12 ^{NS}	100,09**	0,03 ^{NS}	(-0,88; 0,94)	
PALMS01	0,05 ^{NS}	99,95**	0,0002 ^{NS}	(-0,016; 0,016)	0,007
ARRGR01	0,25 ^{NS}	99,78**	136696,76 ^{NS}	(-824124,00; 1097517,13)	4556558,67
CAMAQ01	0,39 ^{NS}	100,02**	5,56 ^{NS}	(-23,70; 34,82)	185,33
PALMS02	0,37 ^{NS}	99,93**	50,20 ^{NS}	(-53,23; 153,63)	1673,33
MOSTS01	0,95*	98,85**	188,26*	(61,55; 314,97)	6275,33
RIOGR01	0,96*	98,81**	5,02 ^{NS}	(-12,47; 22,51)	167,33
BAGE001	0,06 ^{NS}	74,99**	0,00005 ^{NS}	(-0,0076; 0,0077)	0,002

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Dose do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; d ^{4/} Dose em g ha⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo analisado/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

Aos 14 DAT, a análise comparativa do C_{50} confirmou novamente a resistência do biótipo ARRGR01 (Figura 19B; Tabela 11). Nessa avaliação, o FR foi de 1,64 para

esse biótipo e, assim como na avaliação anterior, os demais não diferiram significativamente do suscetível SUSSP01. Aos 21 DAT não foi possível comparar o FR entre os biótipos, pois a regressão do SUSSP01 não permitiu ajuste devido ao controle de 100% já a partir da primeira dose avaliada (Figura 19C; Tabela 11). Nessa avaliação, a menor dose utilizada de 75 g ha⁻¹ proporcionou controle de 100% do biótipo SUSSP01.

Aos 28 DAT, a dose de quinclorac de 75 g ha⁻¹ controlou todos os biótipos suscetíveis (Figura 19D). O biótipo resistente ARRGR01 reverteu a injúria proporcionada pelo herbicida quinclorac em relação às avaliações anteriores até a dose de 562,5 g ha⁻¹ (Figura 19). O herbicida quinclorac, na dose de 750 g ha⁻¹, controlou 5% do biótipo resistente ARRGR01 quando avaliado aos 28 DAT. O efeito das doses testadas de quinclorac sobre as plantas de capim-arroz inviabilizou o ajuste para todos os biótipos avaliados, aos 28 DAT (Figura 19D).

A avaliação da massa seca da parte aérea de capim-arroz aos 28 DAT não foi adequada para discriminação da resistência entre biótipos (Figura 20; Tabela 11). O controle de 100% das plantas de capim-arroz aos 28 DAT, na menor dose de 75 g ha⁻¹ de quinclorac, e a reversão da injúria do biótipo ARRGR01 ocasionada pelo herbicida até a dose de 562,5 g ha⁻¹ proporcionaram ajustes da equação com parâmetros GR₅₀ não significativos.

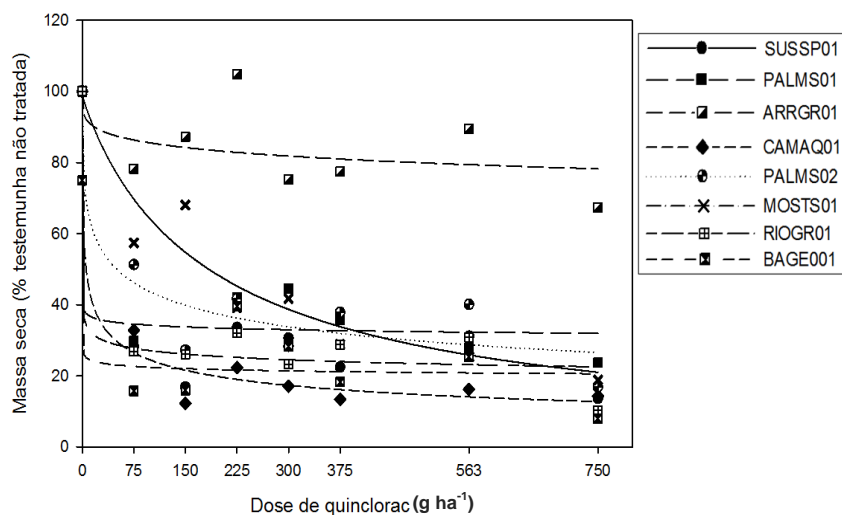


FIGURA 20. Redução da massa seca da parte aérea (%) de oito biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes doses de quinclorac, aos 28 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 11.

Malathion, aplicado previamente, não proporcionou diferença significativa no controle de capim-arroz por quinclorac em nenhum dos biótipos analisados (Figura 21; Tabela 12). O fator de resistência entre as plantas de capim-arroz controle sem aplicação e as plantas que foram aspergidas previamente por malathion não foi significativo por não haver distinção entre os intervalos de confiança entre o parâmetro C_{50} .

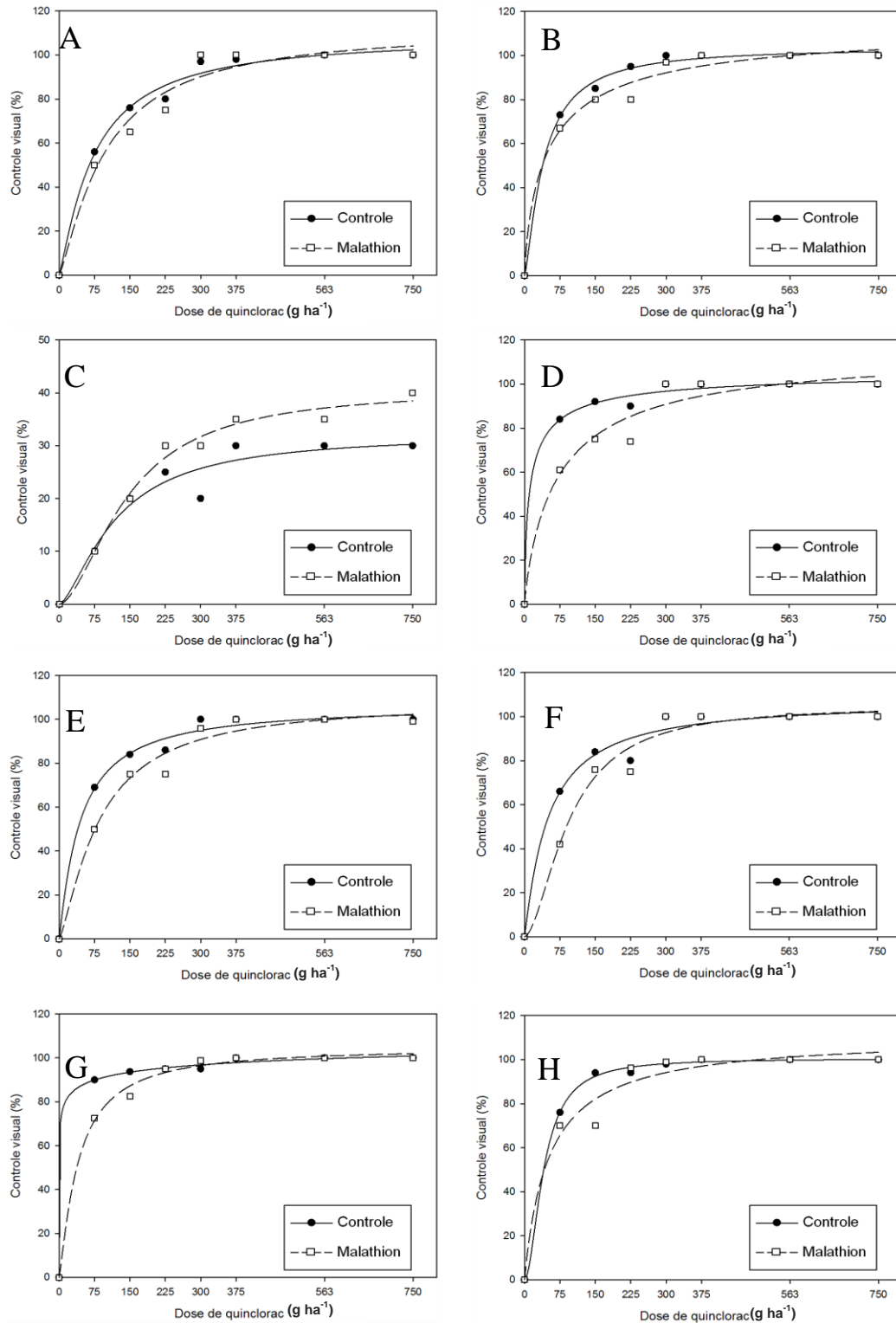


FIGURA 21. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H), em função de diferentes doses de quinclorac, com aplicação prévia de malathion, aos 14 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 12.

TABELA 12. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes doses de quinclorac, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- SUSSP01 -----					
Controle	-1,19**	108,76**	73,20**	(53,20; 93,20)	0,75
Malathion	-1,25**	112,23**	97,70**	(82,67; 112,63)	
----- PALMS01 -----					
Controle	-1,33**	103,78**	40,35**	(34,83; 45,87)	0,78
Malathion	-0,80**	114,90**	51,76**	(41,57; 61,95)	
----- ARRGR01 -----					
Controle	-1,49**	32,21**	119,89**	(100,33; 139,44)	0,83
Malathion	-1,73**	40,70**	144,67**	(135,27; 154,07)	
----- CAMAQ01 -----					
Controle	-0,72 ^{NS}	106,51**	12,13 ^{NS}	(-5,46; 29,72)	0,17
Malathion	-0,89**	116,56**	72,94**	(52,60; 93,30)	
----- PALMS02 -----					
Controle	-1,10**	106,55**	44,19**	(31,37; 57,37)	0,52
Malathion	-1,32**	108,02**	85,29*	(37,59; 132,99)	
----- MOSTS01 -----					
Controle	-1,10*	107,28**	49,59**	(34,39; 64,79)	0,52
Malathion	-1,74**	105,21**	94,63*	(38,98; 150,28)	
----- RIOGR01 -----					
Controle	-0,20 ^{NS}	127,16**	0,94 ^{NS}	(-6,33; 8,21)	0,02
Malathion	-1,22**	104,87**	40,43**	(7,04; 73,82)	
----- BAGE001 -----					
Controle	-1,88**	100,46**	40,77**	(27,32; 54,22)	0,79
Malathion	-0,98**	110,79**	51,47**	(37,53; 65,41)	

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Dose do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; $Dose$ ^{4/} Dose em g ha⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do biótipo sem inibidor/ C_{50} do biótipo aspergido previamente com malathion.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.1.3 Clomazone

Verificou-se interações significativas entre os fatores testados para a variável controle visual aos 2, 7, 14, 21 e 28 DAT (Apêndice 2). No entanto, a variável massa seca da parte aérea somente indicou diferença significativa entre biótipos e entre a interação dose e inibidor. Deste modo, será apresentado inicialmente o comparativo entre biótipos em relação ao incremento da dose de clomazone nas cinco épocas de avaliação visual e avaliação da massa seca da parte aérea. Após, será apresentado o

efeito da aplicação prévia de malathion na eficácia de controle dos diferentes biótipos de capim-arroz na avaliação de controle visual aos 7 DAT. Esta avaliação foi a que resultou no melhor ajuste da equação entre as avaliações realizadas pela maior significância dos parâmetros.

O controle dos biótipos de capim-arroz pelo herbicida clomazone aumentou até 14 DAT (Figura 22; Tabela 13). Nas avaliações seguintes, de maneira geral, os biótipos analisados recuperaram-se da injúria causada pelo herbicida. A avaliação aos 2 DAT não foi bom parâmetro para distinção entre eles em relação ao controle pelo herbicida clomazone (Figura 22A; Tabela 13). Nessa avaliação, o ajuste da equação dos biótipos SUSSP01, PALMS01, ARRGR01 e CAMAQ01 não proporcionou C_{50} significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Aos 7 DAT, sete dos oito biótipos avaliados tiveram fator C_{50} significativo. Nesta avaliação, os biótipos ARRGR01, PALMS02 e RIOGR01 diferenciaram-se significativamente do padrão comparativo SUSSP01 (Figura 22B; Tabela 13). Os fatores de resistência foram de 0,53, 0,64 e 0,40 para ARRGR01, PALMS02 e RIOGR01, respectivamente. Esses fatores de resistência indicam que os biótipos resistentes a imidazolinonas em questão foram mais suscetíveis a clomazone que o SUSSP01.

Aos 14 DAT, o parâmetro C_{50} do biótipo suscetível a imidazolinonas SUSSP01 não foi significativo (Figura 22C; Tabela 13). A análise do intervalo de confiança do C_{50} entre os demais biótipos demonstrou não haver diferença entre ambos. A avaliação visual aos 21 e 28 DAT, e a avaliação da massa seca da parte aérea aos 28 DAT não permitiram análise comparativa entre os biótipos analisados (Figura 22D,E,F; Tabela 13). Nessas avaliações, o parâmetro comparativo C_{50} ou GR_{50} não foi significativo para a maioria dos biótipos analisados.

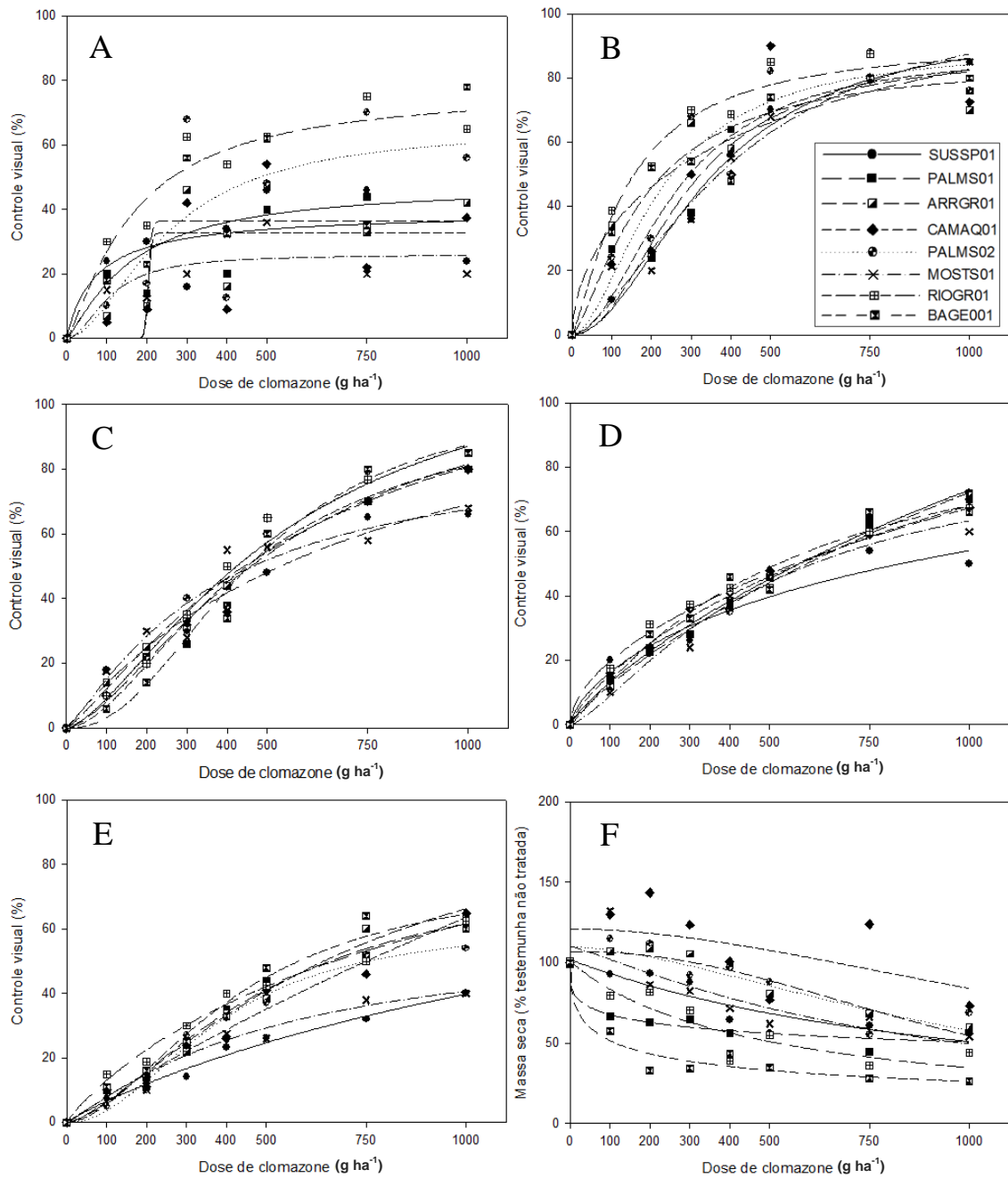


FIGURA 22. Controle visual (%) de oito biótipos de capim-arroz em função de diferentes doses de clomazone, aos 2 (A), 7 (B), 14 (C), 21 (D) e 28 DAT (E) e massa seca da parte aérea aos 28 DAT (F), no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 13.

TABELA 13. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 2, 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de clomazone, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^u	d ^u	C_{50} ^u		FR ^u
			Dose ^u	IC ^u 95%	
----- 2 DAT -----					
SUSSP01	-0,94 ^{NS}	39,59**	76,46 ^{NS}	(-7,32; 160,24)	
PALMS01	-1,23 ^{NS}	47,72**	160,35 ^{NS}	(-37,48; 358,18)	2,10
ARRGR01	-49,23 ^{NS}	36,46**	203,99 ^{NS}	(-207,82; 615,80)	2,67
CAMAQ01	-50,26 ^{NS}	32,71**	203,89 ^{NS}	(-61,64; 469,42)	2,67
PALMS02	-1,79 ^{NS}	65,40**	250,26**	(94,26; 406,25)	3,27
MOSTS01	-1,91 ^{NS}	26,06**	107,72**	(52,05; 163,39)	2,17
RIOGR01	-1,26 ^{NS}	77,90**	165,65*	(41,95; 289,35)	2,17
BAGE001	-1,23 ^{NS}	47,71**	160,34**	(-37,50; 358,16)	2,10
----- 7 DAT -----					
SUSSP01	-1,96**	96,97**	345,30**	(301,72; 388,88)	
PALMS01	-2,14**	87,40**	282,66**	(229,92; 335,40)	0,82
ARRGR01	-1,41**	86,22**	183,60**	(117,94; 255,26)	0,53
CAMAQ01	-1,96**	88,35**	258,82**	(204,28; 313,36)	0,75
PALMS02	-1,78**	89,95**	221,85**	(171,19; 272,51)	0,64
MOSTS01	-1,60**	108,36**	407,33**	(279,45; 535,21)	1,18
RIOGR01	-1,31**	92,26**	138,01**	(88,95; 187,06)	0,40
BAGE001	-0,62*	155,64 ^{NS}	814,65 ^{NS}	(-2234,05; 3863,35)	2,36
----- 14 DAT -----					
SUSSP01	-1,03**	118,28 ^{NS}	719,94 ^{NS}	(-505,17; 1945,05)	
PALMS01	-1,51**	113,48**	538,31**	(289,95; 786,67)	0,75
ARRGR01	-1,23**	125,51**	619,46**	(269,21; 969,71)	0,86
CAMAQ01	-1,74**	101,68**	457,61**	(346,68; 568,54)	0,64
PALMS02	-1,49**	121,95**	541,15**	(370,70; 711,60)	0,68
MOSTS01	-1,21**	87,36**	364,25*	(84,81; 643,69)	0,51
RIOGR01	-1,49**	121,95**	541,15**	(370,70; 711,60)	0,75
BAGE001	-2,24**	103,36**	467,10**	(404,41; 529,79)	0,65
----- 21 DAT -----					
SUSSP01	-0,71 ^{NS}	127,44 ^{NS}	1537,67 ^{NS}	(-6443,83; 9519,17)	
PALMS01	-0,83**	338,90 ^{NS}	4717,72 ^{NS}	(-19133,60; 28569,06)	3,09
ARRGR01	-0,86**	331,58 ^{NS}	4438,40 ^{NS}	(-16906,50; 25783,28)	2,89
CAMAQ01	-0,80**	193,50 ^{NS}	2150,74 ^{NS}	(-4636,60; 8938,08)	1,40
PALMS02	-0,54**	105,21 ^{NS}	3541,12 ^{NS}	(-1944,97; 9029,21)	2,30
MOSTS01	-1,36**	87,63**	493,09**	(209,67; 776,51)	0,32
RIOGR01	-0,57 ^{NS}	703,96 ^{NS}	52562,43 ^{NS}	(-1349170; 1454295,30)	34,18
BAGE001	-1,12**	102,58**	544,52 ^{NS}	(95,41; 993,63)	0,35
----- 28 DAT -----					
SUSSP01	-0,93**	120,70 ^{NS}	2141,43 ^{NS}	(-4990,55; 9273,41)	
PALMS01	-1,58**	82,16**	489,22**	(292,60; 685,84)	0,23
ARRGR01	-1,41**	106,68**	703,31**	(326,86; 1079,76)	0,33
CAMAQ01	-0,98 ^{NS}	380,84 ^{NS}	5187,58 ^{NS}	(-22447,25; 32634,83)	2,42
PALMS02	-2,07**	62,20**	380,99**	(308,92; 453,07)	0,18
MOSTS01	-1,15**	59,61**	514,37 ^{NS}	(62,11; 966,63)	0,24
RIOGR01	-0,91 ^{NS}	129,63 ^{NS}	1117,07 ^{NS}	(-1145,58; 3379,72)	0,52
BAGE001	-1,79**	78,71**	425,50**	(307,89; 543,11)	0,20

continuação. TABELA 13. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 2, 7, 14, 21 e 28 DAT, e massa seca da parte aérea de oito biótipos de capim-arroz, aos 28 DAT, submetido a diferentes doses de clomazone, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	$b^{1/}$	$d^{2/}$	$GR_{50}^{3/}$		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- Massa seca parte aérea -----					
SUSSP01	1,04 ^{NS}	101,73**	1003,11**	(368,64; 1637,58)	
PALMS01	0,31 ^{NS}	99,41**	1132,65 ^{NS}	(-1987,33; 4252,63)	1,13
ARRGR01	2,24 ^{NS}	106,95**	1015,97**	(620,84; 1411,10)	1,01
CAMAQ01	1,83 ^{NS}	121,07**	1559,80 ^{NS}	(-544,25; 3663,85)	1,56
PALMS02	1,67 ^{NS}	109,86**	1065,21**	(542,06; 1588,34)	1,06
MOSTS01	1,20 ^{NS}	109,99**	841,13*	(175,56; 1506,70)	0,84
RIOGR01	0,96**	101,07**	506,27**	(231,30; 781,25)	0,51
BAGE001	0,48 ^{NS}	100,30**	111,77 ^{NS}	(-114,68; 338,22)	0,11

$b^{1/}$ Declividade da curva; $d^{2/}$ Limite superior; C_{50} ou $GR_{50}^{3/}$ Dose do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; $d^{4/}$ Dose em g ha⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo analisado/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A aplicação prévia de malathion não proporcionou diferença significativa de controle dos oito biótipos de capim-arroz analisados na avaliação aos 7 DAT (Figura 23; Tabela 14). Nessa avaliação, não houve distinção entre o intervalo de confiança dos parâmetros C_{50} da regressão do controle em comparação com a aplicação prévia de malathion.

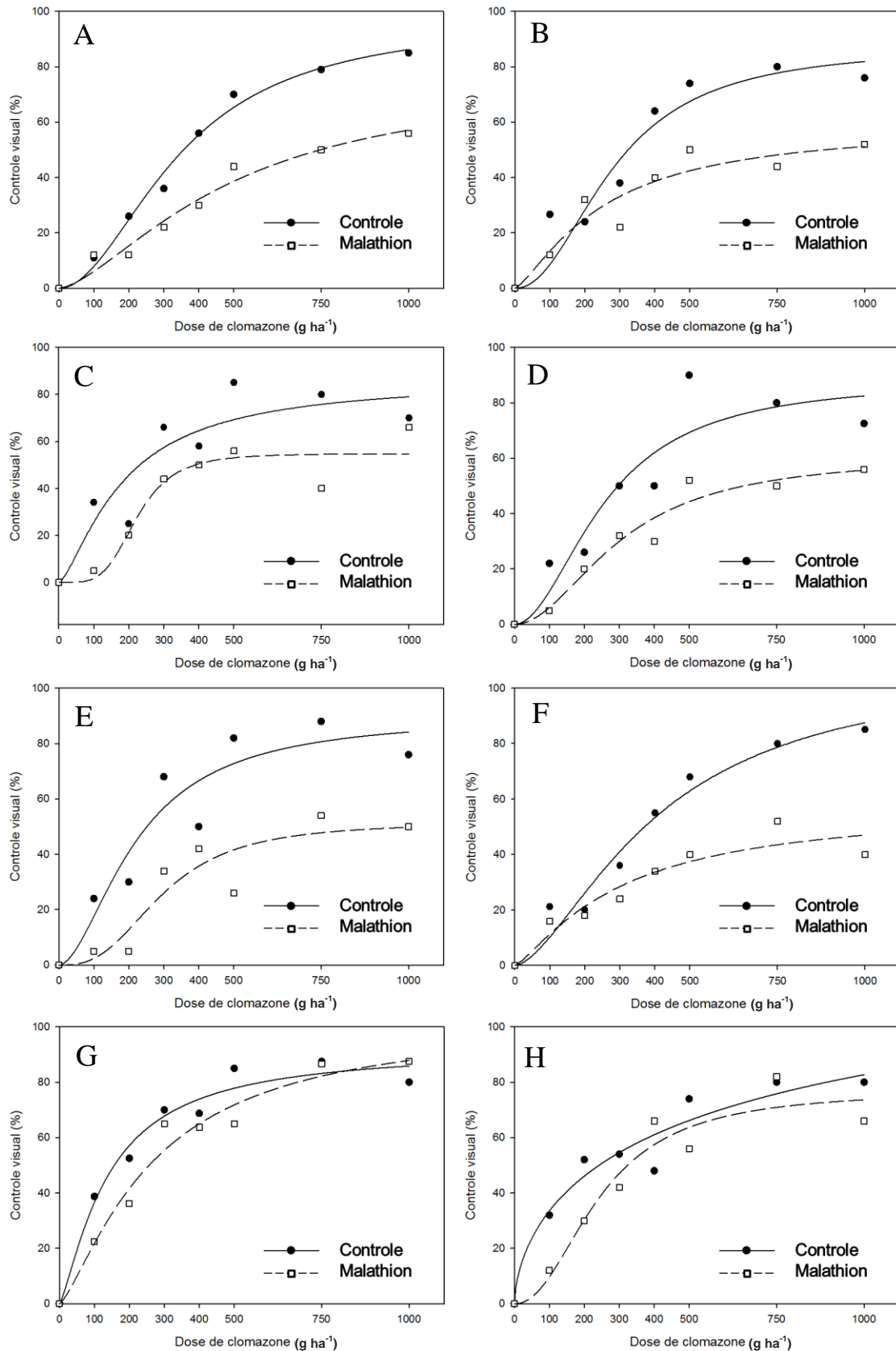


FIGURA 23. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), ARRGR01 (C), CAMAQ01 (D), PALMS02 (E), MOSTS01 (F), RIOGR01 (G) e BAGE001 (H) de capim-arroz em função de diferentes doses de clomazone com aplicação prévia de malathion, aos 7 DAT, no experimento com aspersão foliar. Equações na Tabela 14.

TABELA 14. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de oito biótipos de capim-arroz, aos 7 DAT, submetido a diferentes doses de clomazone, com e sem aplicação prévia de malathion, no experimento com aspersão foliar.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		FR ^{6/}
			Dose ^{4/}	IC ^{5/} 95%	
----- SUSSP01 -----					
Controle	-1,96**	96,97**	345,30**	(301,72; 388,88)	0,70
Malathion	-1,54**	76,43**	493,17**	(228,83; 757,51)	
----- PALMS01 -----					
Controle	-2,14**	87,40**	282,66**	(229,92; 335,40)	1,13
Malathion	-1,34**	59,22**	250,60**	(145,42; 355,78)	
----- ARRGR01 -----					
Controle	-1,41**	86,22**	183,60**	(117,94; 255,26)	0,83
Malathion	-4,22**	54,75**	222,42**	(192,13; 252,71)	
----- CAMAQ01 -----					
Controle	-1,96**	88,35**	258,82**	(204,28; 313,36)	0,85
Malathion	-1,98**	60,99**	305,27**	(252,24; 358,30)	
----- PALMS02 -----					
Controle	-1,78**	89,95**	221,85**	(171,19; 272,51)	0,75
Malathion	-2,78**	51,47**	297,87**	(240,61; 355,13)	
----- MOSTS01 -----					
Controle	-1,60**	108,36**	407,33**	(279,45; 535,21)	1,34
Malathion	-1,26**	57,41**	303,22**	(135,60; 470,84)	
----- RIOGR01 -----					
Controle	-1,31**	92,26**	138,01**	(88,95; 187,06)	0,52
Malathion	-1,34**	102,93**	267,60**	(154,34; 380,86)	
----- BAGE001 -----					
Controle	-0,62*	155,64 ^{NS}	814,65 ^{NS}	(-2234,05; 3863,35)	3,34
Malathion	-2,18**	77,06**	244,17**	(207,28; 281,06)	

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Dose do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; $Dose$ ^{4/} Dose em g ha⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do biótipo sem inibidor/ C_{50} do biótipo aspergido previamente com malathion.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2 Experimento em casa de vegetação com solução hidropônica

Na primeira parte, serão apresentados os resultados da definição das concentrações dos inibidores de metabolização e dos herbicidas e a adequação do tempo de condução do experimento. Na segunda parte, serão apresentados os resultados encontrados no experimento em solução hidropônica com os herbicidas imazethapyr e quinclorac.

4.2.2.1 Definição da concentração dos inibidores de metabolização e dos herbicidas imazethapyr e quinclorac

4.2.2.1.1 1-aminobenzotriazole (ABT)

O controle visual de plântulas de capim-arroz não variou de forma significativa com concentrações de ABT de 0 a 10 mg L⁻¹, nas avaliações realizadas aos 4, 7 e 10 DAT (Figura 24A; Tabela 15). As concentrações até 10 mg L⁻¹ também não ocasionaram redução significativa no crescimento de raízes e da parte aérea das plântulas de capim-arroz (Figura 24B; Tabela 15). As concentrações de 20 e 40 mg L⁻¹ proporcionaram injúria visual nas três épocas de avaliação e redução no crescimento de raízes e parte aérea aos 10 DAT. Desta forma, 10 mg L⁻¹ foi a maior concentração que não causou alteração de crescimento e de desenvolvimento nas plântulas de capim-arroz.

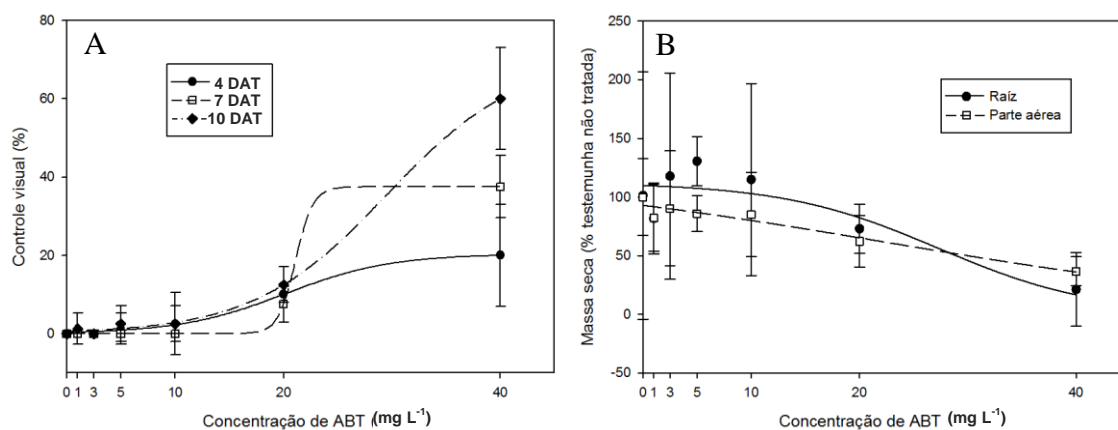


FIGURA 24. Controle visual (%) de capim-arroz, em três épocas de avaliação (A), e redução da massa seca de parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT (B), em função de diferentes concentrações de 1-aminobenzotriazole (ABT), em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 15.

TABELA 15. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de 1-aminobenzotriazole (ABT), em condição hidropônica.

Avaliação	$b^{\underline{1}}$	$d^{\underline{2}}$	GR_{50} ou $C_{50}^{\underline{3}}$	
			Concentração ^{$\underline{4}$}	IC ^{$\underline{5}$} 95%
4 DAT	4,85**	20,32**	20,10**	(17,17; 23,03)
7 DAT	0,81 ^{NS}	37,50**	21,12**	(-3723,33; 3765,57)
10 DAT	6,17**	70,99**	29,53**	(21,44; 37,62)
Parte aérea	-20,03 ^{NS}	123,40 ^{NS}	22,22 ^{NS}	(-18,44; 62,88)
Raiz	-7,25 ^{NS}	112,40**	27,30**	(16,93; 37,67)

$b^{\underline{1}}$ Declividade da curva; $d^{\underline{2}}$ Limite superior; C_{50} ou $GR_{50}^{\underline{3}}$ Concentração do inibidor que causa 50% de efeito no fator analisado; $\underline{4}$ Concentração em $mg L^{-1}$; IC ^{$\underline{5}$} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.1.2 Piperolina butóxido (PBO)

PBO, até a concentração de $40 mg L^{-1}$, não causou injúria visual de plântulas de capim-arroz aos 4 e 10 DAT (Figura 25A; Tabela 16). Aos 7 DAT, a concentração de $40 mg L^{-1}$ diferiu do controle sem inibidor. A avaliação de massa seca de raiz não possibilitou o ajuste da regressão e não foi afetada por nenhuma concentração testada de PBO (Figura 25B; Tabela 16). A massa seca da parte aérea de capim-arroz foi reduzida em relação ao controle sem inibidor na concentração de $40 mg L^{-1}$ (Figura 25B; Tabela 16). Portanto, a maior concentração testada de PBO que não causou variação do crescimento ou no desenvolvimento de plântulas de capim-arroz em relação ao controle sem o inibidor, foi a de $20 mg L^{-1}$.

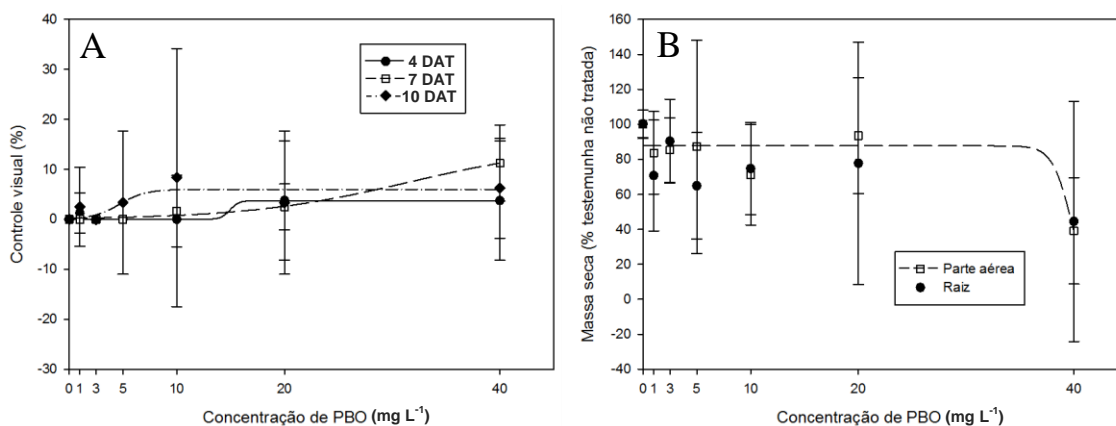


FIGURA 25. Controle visual (%) de capim-arroz, em três avaliações (A), e da redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, em função de diferentes concentrações de piperolina butóxido (PBO), em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 16.

TABELA 16. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e da raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de piperolina butóxido (PBO), em condição hidropônica.

Avaliação	b ^{1/}	d ^{2/}	GR_{50} ou C_{50} ^{3/}	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%
4 DAT	0,42 ^{NS}	2,75 ^{NS}	14,94 ^{NS}	(-5251,14; 5281,02)
7 DAT	7,46 ^{NS}	14,87 ^{NS}	31,55 ^{NS}	(-1,16; 64,26)
10 DAT	1,23 ^{NS}	5,99 ^{**}	4,67 ^{NS}	(-16,68; 26,02)
Parte aérea	-0,89 ^{NS}	87,71 ^{**}	39,81 ^{**}	(39,80; 39,82)
Raiz	-	-	-	-

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Concentração do inibidor que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mg L⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.1.3 Malathion

Malathion, até a concentração de 10 mg L⁻¹, não causou diferença significativa no controle visual de plântulas de capim-arroz nas três épocas de avaliação (Figura 26A; Tabela 17). Nas avaliações aos 4 e 7 DAT, a concentração de 40 mg L⁻¹ foi a única que causou diferença significativa no controle em relação ao tratamento controle sem inibidor.

Na avaliação aos 10 DAT, malathion, nas concentrações de 20 e 40 mg L⁻¹, proporcionou injúria visual em relação ao tratamento sem aplicação. A massa seca de raiz e de parte aérea não foi reduzida significativamente quando as plântulas foram submetidas até a concentração de 20 mg L⁻¹ de malathion (Figura 26B; Tabela 17). Deste modo, a concentração selecionada para utilização no experimento em hidroponia foi a de 10 mg L⁻¹, por ser a maior concentração que não causou redução no crescimento e no desenvolvimento de plântulas de capim-arroz para nenhum dos parâmetros analisados.

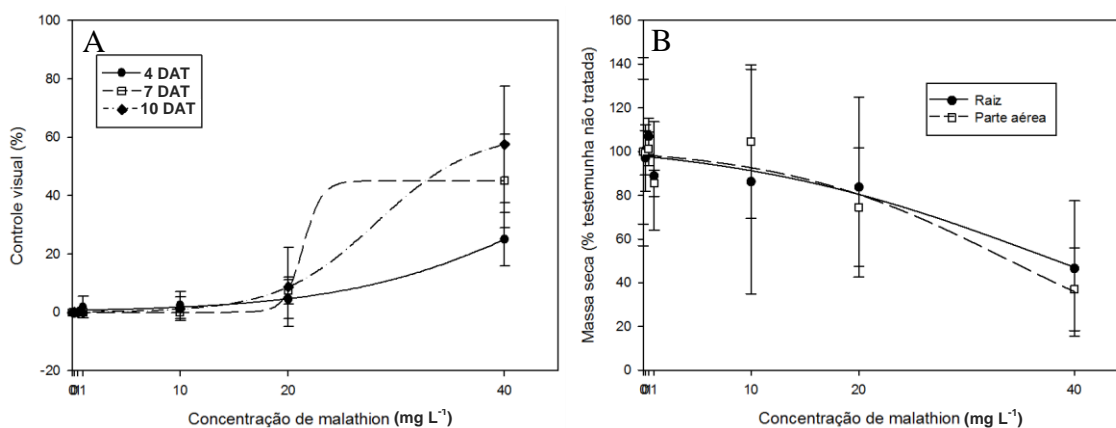


FIGURA 26. Controle visual (%) de capim-arroz, em três avaliações (A), e na massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, em função de diferentes concentrações de malathion, em condição hidropônica. Barras verticais representam o IC 95%. Equações na Tabela 17.

TABELA 17. Parâmetros da equação logística para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca da parte aérea e raiz de capim-arroz, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de malathion, em condição hidropônica.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%
4 DAT	9,82 ^{NS}	71,92 ^{NS}	46,18 ^{NS}	(-31,52; 123,88)
7 DAT	0,85 ^{NS}	45,00 ^{**}	21,38 ^{NS}	(-4328,86; 4371,62)
10 DAT	4,55 ^{NS}	61,78 ^{**}	28,19 ^{**}	(11,29; 45,09)
Parte aérea	-10,51 ^{**}	102,48 ^{**}	33,53 ^{**}	(27,80; 39,25)
Raiz	-14,51 ^{NS}	105,59 ^{**}	36,87 ^{**}	(25,39; 48,35)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Concentração do inibidor que causa 50% de efeito no fator analisado; $4/$ Concentração em mg L⁻¹; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.1.4 Imazethapyr

As avaliações de controle visual realizadas aos 4, 7 e 10 DAT, e da massa seca da parte aérea aos 10 DAT, nas concentrações analisadas, não foram bons parâmetros para identificar a resistência de capim-arroz entre os biótipos resistente PALMS01 e suscetível SUSSP01 (Figura 27; Tabela 18). Imazethapyr, na concentração de 0,00001 mM, já proporcionou redução na massa seca das plântulas de capim-arroz e controle visual nas três épocas de avaliação (Figura 27D; Tabela 18). O ajuste da equação foi influenciado pela redução do crescimento na menor concentração testada, tanto para o biótipo resistente quanto para o biótipo suscetível. O mesmo comportamento foi observado em relação ao controle visual avaliado aos 4, 7 e 10 DAT (Figura 27A,B,C; Tabela 18). Os resultados encontrados indicaram a necessidade do uso de concentração inferior a de 0,00001 mM e maior tempo de condução do experimento para se obter maior diferença significativa entre os biótipos analisados.

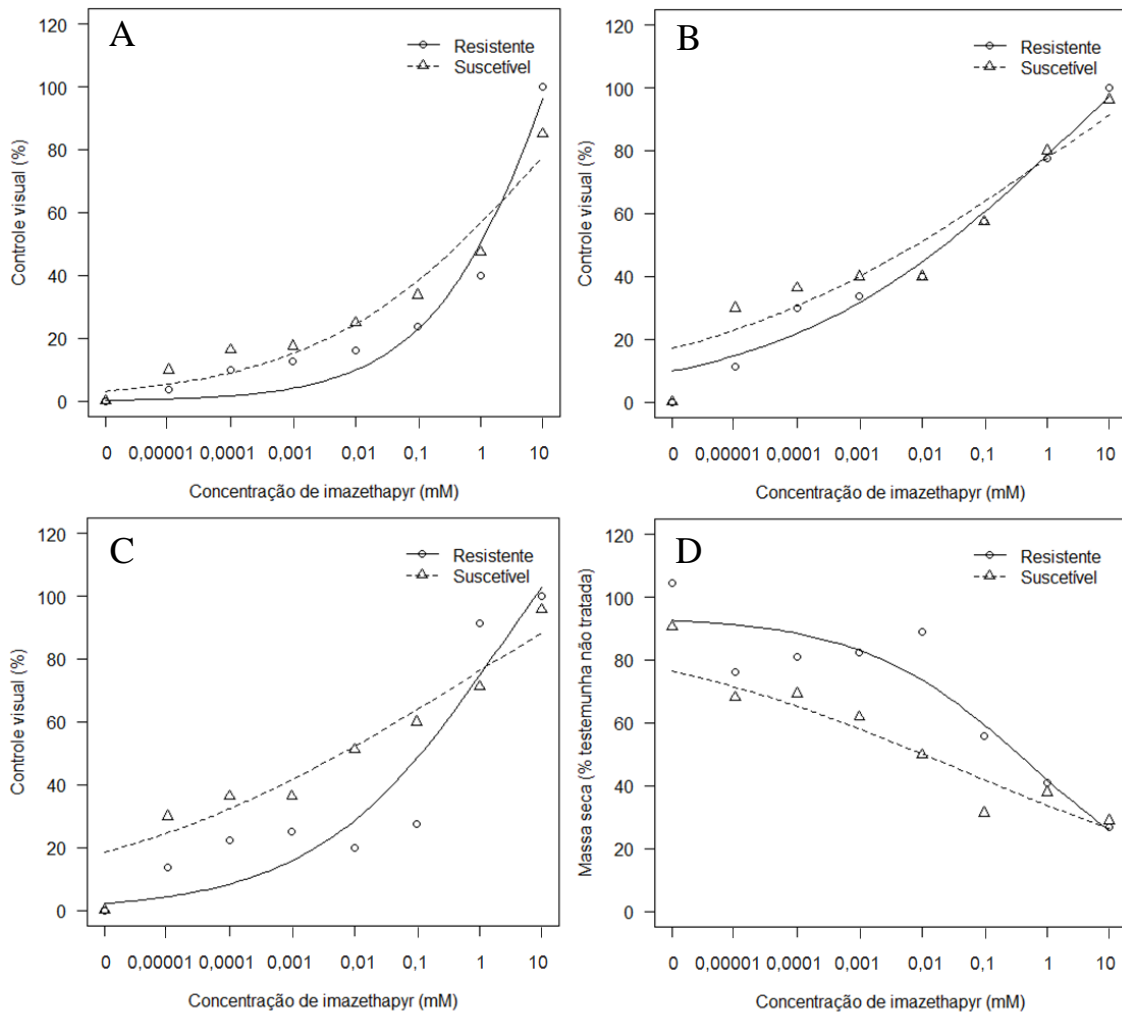


FIGURA 27. Controle visual (%) de biótipos capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 (A), 7 (B) e 10 DAT (C), e massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada, aos 10 DAT (D), em função de diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica. Equações na Tabela 18.

TABELA 18. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 4, 7 e 10 DAT, e redução da massa seca de parte aérea de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 10 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.

Biótipo	$b^{\underline{1}}$	$d^{\underline{2}}$	C_{50} ou $GR_{50}^{\underline{3}}$		Fator de resistência	
			Concentração $^{\underline{4}}$	IC $^{\underline{5}}$ 95%	FR $^{\underline{6}}$	IC $^{\underline{5}}$ 95%
----- 4 DAT -----						
Resistente	-0,39 **	258,50 **	38,10 ^{NS}	(-6,12; 82,32)	3,03 ^{NS}	(-2,51; 8,79)
Suscetível	-0,24 **	160,23 **	12,59 ^{NS}	(-5,28; 30,46)		
----- 7 DAT -----						
Resistente	-0,19 **	170,88 **	2,34 ^{NS}	(-1,87; 6,55)	1,45 ^{NS}	(-1,98; 4,88)
Suscetível	-0,15 **	160,68 **	1,61 ^{NS}	(-0,87; 4,09)		
----- 10 DAT -----						
Resistente	-0,29 **	167,21 **	2,07 ^{NS}	(-1,08; 5,22)	3,66 ^{NS}	(-7,58; 14,90)
Suscetível	-0,15 **	146,42 **	0,57 ^{NS}	(-0,95; 2,07)		
----- Massa seca da parte aérea -----						
Resistente	0,32 *	93,87 **	0,53 ^{NS}	(-0,10; 1,14)	13,99 ^{NS}	(-28,48; 56,46)
Suscetível	0,15 **	90,73 **	0,04 ^{NS}	(-0,07; 0,14)		

$b^{\underline{1}}$ Declividade da curva; $d^{\underline{2}}$ Limite superior; C_{50} ou $GR_{50}^{\underline{3}}$ Concentração do herbicida imazethapyr que causa 50% de efeito no fator analisado; $^{\underline{4}}$ Concentração em mM; IC $^{\underline{5}}$ 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR $^{\underline{6}}$ fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo resistente/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.1.5 Quinclorac

A avaliação do controle visual realiza aos 4 DAT não foi bom parâmetro para identificar a resistência a quinclorac entre os biótipos SUSSP01 e ARRGR01 analisados (Figura 28A; Tabela 19). A avaliação visual aos 7 DAT foi significativa na discriminação da resistência, resultando em um fator de resistência de 197,68 (Figura 28B; Tabela 19). A redução de 50% da massa seca de capim-arroz (GR_{50}) também foi significativa entre os biótipos de capim-arroz resistentes e suscetíveis quando avaliada aos 7 DAT das diferentes concentrações de quinclorac (Figura 28C; Tabela 19). O fator de resistência foi de 179 para a variável massa seca, que é próximo ao encontrado na análise visual aos sete dias após o tratamento herbicida. Isso indica alto nível de resistência e adequada distinção entre os biótipos pelas concentrações

selecionadas. O herbicida quinclorac, nas concentrações utilizadas, apresentou eficácia na discriminação dos biótipos analisados aos 7 DAT. No entanto, a faixa de concentrações utilizadas no experimento principal foi aumentada até 100 mM com o objetivo de melhorar o ajuste da curva e proporcionar melhor comparação entre os parâmetros GR_{50} , visto que a concentração de 10 mM não proporcionou controle de 100% no biótipo resistente.

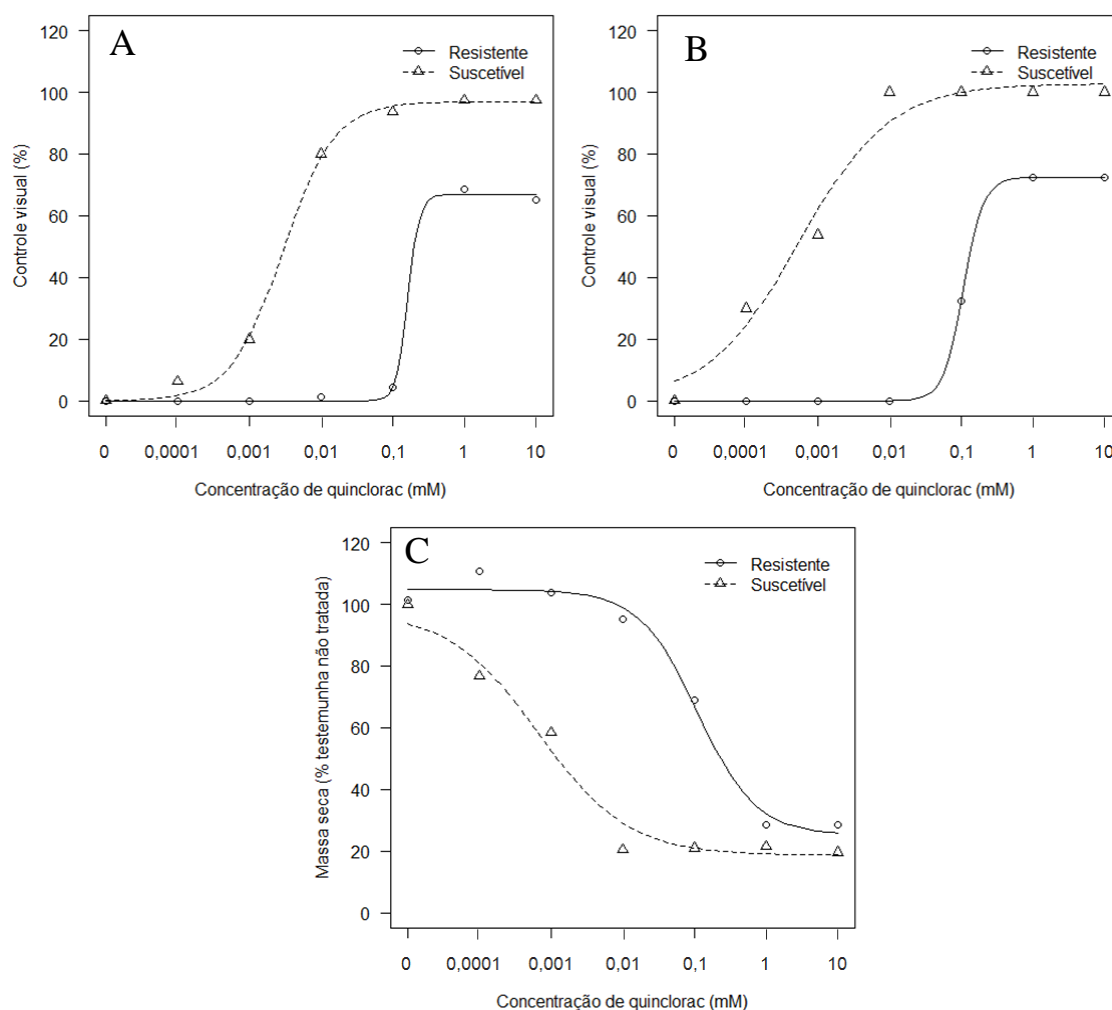


FIGURA 28. Controle visual (%) de biótipos de capim-arroz resistente e suscetível, aos 4 (A) e 7 DAT (B), e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada, aos 7 DAT (C), em função de diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica. Equações na Tabela 19.

TABELA 19. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 4 e 7 DAT, e redução da massa seca de parte aérea, aos 7 DAT, de capim-arroz resistente e suscetível submetido a diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- 4 DAT -----						
Resistente	-5,45 ^{NS}	66,88 **	0,16 ^{NS}	(-0,079; 0,39)	55,82 ^{NS}	(-29,35; 140,99)
Suscetível	-1,19 **	96,93 **	0,003 **	(0,0025; 0,0033)		
----- 7 DAT -----						
Resistente	-3,08 ^{NS}	72,54 **	0,11 **	(0,0061; 0,15)	197,68 **	(99,53; 295,81)
Suscetível	-0,682 **	102,78 **	0,00054 **	(0,00042; 0,00066)		
----- Massa seca da parte aérea -----						
Resistente	0,49 **	108,52 **	0,29 *	(0,11; 0,49)	179,25 *	(65,97; 292,53)
Suscetível	0,28 **	102,51 **	0,0017 ^{NS}	(0,0004; 0,004)		

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC ^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR ^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo resistente/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo suscetível.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.2 Efeito de inibidores de metabolização na eficácia de imazethapyr e quinclorac em solução hidropônica

4.2.2.2.1 Imazethapyr

Verificou-se interação significativa de biótipos de capim-arroz e de inibidores nas avaliações de controle visual aos 6, 9, 12 e 14 DAT e na avaliação da massa seca de parte aérea, aos 14 DAT (Apêndice 3). A interação dos fatores inibidor e biótipo foi significativa somente na avaliação do controle visual aos 12 e 14 DAT (Apêndice 3). Desta forma, a análise foi realizada por regressões entre as concentrações do herbicida para inibidores e biótipos para cada uma das variáveis respostas. Inicialmente, será apresentada a comparação entre biótipos nas diferentes avaliações. Posteriormente, será apresentado o efeito dos inibidores de metabolização em relação ao controle visual e à massa seca da parte aérea.

Na avaliação aos 6 DAT, o parâmetro C_{50} e o fator de resistência (FR) demonstraram diferença entre o biótipo PALMS01 e o suscetível SUSSP01, com FR igual a 9,74 para o herbicida imazethapyr (Figura 29A; Tabela 20). A distinção entre os demais biótipos resistentes e o suscetível SUSSP01 não foi significativa aos 6 DAT. Aos 9 DAT, além do PALMS01, o biótipo ARRGR01 apresentou diferença significativa no controle visual em relação ao SUSSP01 (Figura 29B; Tabela 20). Os demais biótipos resistentes não foram estatisticamente distintos do suscetível nessa avaliação.

A discriminação da resistência entre os biótipos analisados em relação ao SUSSP01 foi evidenciada nas avaliações aos 12 e 14 DAT (Figura 29C,D; Tabela 20). O fator de resistência entre ambos variou de 7 a 46, indicando diferentes graus de resistência entre os biótipos analisados.

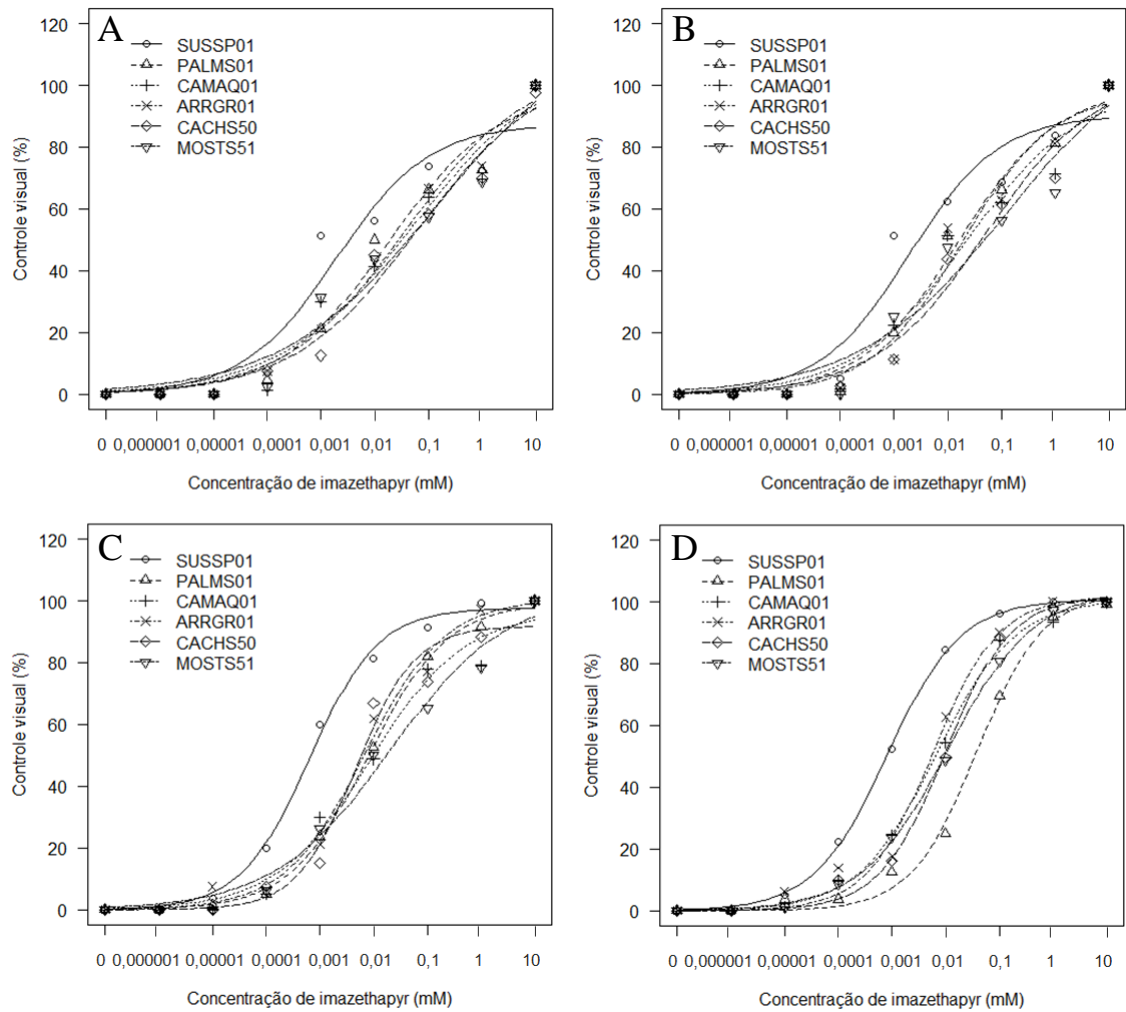


FIGURA 29. Controle visual (%) de seis biótipos de capim-arroz, aos 6 (A), 9 (B), 12 (C) e 14 DAT (D), em função de diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica. Equações na Tabela 20.

TABELA 20. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 6, 9, 12 e 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.

Biótipo	b	d	C_{50}		Fator de resistência	
			Concentração	IC 95%	FR	IC 95%
----- 6 DAT -----						
SUSSP01	-0,49**	87,56**	0,0019**	(0,0007; 0,0031)		
PALMS01	-0,43**	98,63**	0,0185*	(0,0034; 0,034)	9,74*	(1,31; 18,17)
CAMAQ01	-0,35**	108,57**	0,0508 ^{NS}	(-0,0096; 0,1112)	26,74 ^{NS}	(-0,29; 53,77)
ARRGR01	-0,39**	105,89**	0,0373 ^{NS}	(0,00263; 0,0719)	19,63 ^{NS}	(0,55; 38,71)
CACHS50	-0,37**	106,57**	0,0637 ^{NS}	(-0,00928; 0,1366)	33,53 ^{NS}	(0,14; 66,92)
MOSTS51	-0,31**	119,58**	0,1246 ^{NS}	(-0,1986; 0,2211)	65,58 ^{NS}	(-2,79; 133,95)
----- 9 DAT -----						
SUSSP01	-0,52**	90,38**	0,0019*	(0,0007; 0,0032)		
PALMS01	-0,47**	99,32**	0,0163*	(0,0053; 0,0273)	8,58**	(2,22; 14,94)
CAMAQ01	-0,41**	99,49**	0,0228 ^{NS}	(0,0003; 0,0454)	12,00 ^{NS}	(-0,72; 24,72)
ARRGR01	-0,51**	98,05**	0,0184*	(0,0061; 0,0307)	9,68*	(1,73; 17,63)
CACHS50	-0,42**	104,07**	0,0512 ^{NS}	(-0,0011; 0,1035)	26,95 ^{NS}	(-1,67; 55,57)
MOSTS51	-0,32**	116,00**	0,1160 ^{NS}	(-0,0919; 0,3239)	61,05 ^{NS}	(-2,55; 124,65)
----- 12 DAT -----						
SUSSP01	-0,68**	97,71**	0,00063**	(0,0005; 0,0008)		
PALMS01	-0,59**	99,56**	0,0081**	(0,0058; 0,0103)	12,75**	(8,1; 17,4)
CAMAQ01	-0,49**	96,69**	0,0085**	(0,0045; 0,0120)	13,37**	(7,2; 19,6)
ARRGR01	-0,58**	100,66**	0,0068**	(0,0049; 0,0087)	10,72**	(6,6; 14,8)
CACHS50	-0,79**	91,88**	0,0047**	(0,0040; 0,0054)	7,35**	(4,7; 10,0)
MOSTS51	-0,40**	102,86**	0,0119**	(0,0072; 0,0326)	31,38*	(10,5; 52,3)
----- 14 DAT -----						
SUSSP01	-0,63**	100,78**	0,00082**	(0,00056; 0,001)		
PALMS01	-0,71**	102,89**	0,038**	(0,026; 0,050)	46,34**	(30,4; 62,2)
CAMAQ01	-0,60**	100,75**	0,0066**	(0,0042; 0,009)	8,05*	(3,1; 12,9)
ARRGR01	-0,70**	101,85**	0,0057**	(0,0042; 0,0072)	6,95*	(3,6; 10,3)
CACHS50	-0,71**	101,92**	0,0097**	(0,0068; 0,0126)	11,83*	(5,1; 18,6)
MOSTS51	-0,54**	104,06**	0,011**	(0,0080; 0,0143)	13,42**	(5,9; 20,9)

b Declividade da curva; d Limite superior; C_{50} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; Concentração em mM; IC 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR fator de resistência = C_{50} do biótipo analisado / C_{50} do biótipo SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A resistência dos biótipos analisados também foi confirmada com a análise da massa seca coletada aos 14 DAT (Figura 30; Tabela 21). O fator de resistência entre os biótipos resistentes e o suscetível variou de 14 a 36,5.

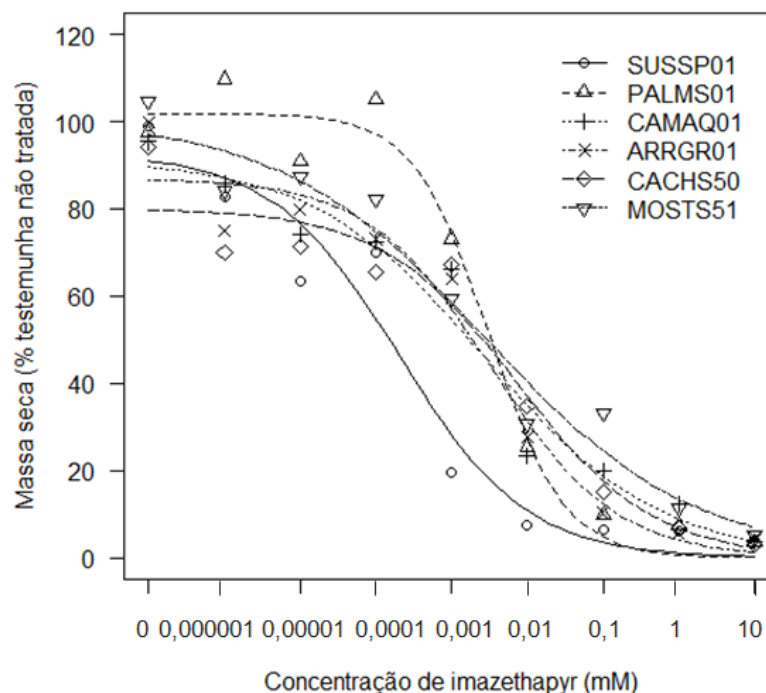


FIGURA 30. Redução da massa seca da parte aérea (%) de seis biótipos de capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, em condição hidropônica. Equações na Tabela 21.

TABELA 21. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável redução da massa seca em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr, em condição hidropônica.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	GR ₅₀ ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC95%
SUSSP01	0,52**	92,82**	0,0002*	(0,00018; 0,00022)		
PALMS01	0,87**	101,83**	0,0032**	(0,0016; 0,0048)	16,00*	(4,87; 27,13)
CAMAQ01	0,38**	9137**	0,0028*	(0,0025; 0,0031)	14,00*	(4,46; 23,54)
ARRGR01	0,53**	86,96**	0,0034*	(0,0031; 0,0037)	17,00*	(4,28; 29,72)
CACHS50	0,48**	80,06**	0,0073*	(0,0065; 0,082)	36,5*	(4,70; 68,30)
MOSTS51	0,32**	100,65**	0,0028*	(0,00025; 0,0031)	14,00*	(6,05; 21,95)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; GR₅₀^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = GR₅₀ do biótipo analisado/ GR₅₀ do biótipo SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A análise de variância indicou somente diferença significativa entre os fatores inibidores de metabolização e biótipos, nas avaliações aos 12 e 14 DAT. Desta forma, será apresentado o efeito dos inibidores de metabolização em relação à média dos biótipos onde não ocorreu interação entre biótipos e inibidores. Nas avaliações aos 12 e 14 DAT serão apresentados os efeitos dos inibidores de metabolização em cada biótipo avaliado.

As análises do parâmetro C_{50} e do fator de resistência não indicaram diferença significativa da aplicação prévia de inibidores de metabolização na análise de controle visual aos 6 e 9 DAT (Figura 31; Tabela 22). A distinção entre biótipos resistentes e suscetíveis não foi eficiente para todos os biótipos nessas avaliações, como demonstrado anteriormente (Figura 29A,B, Tabela 20).

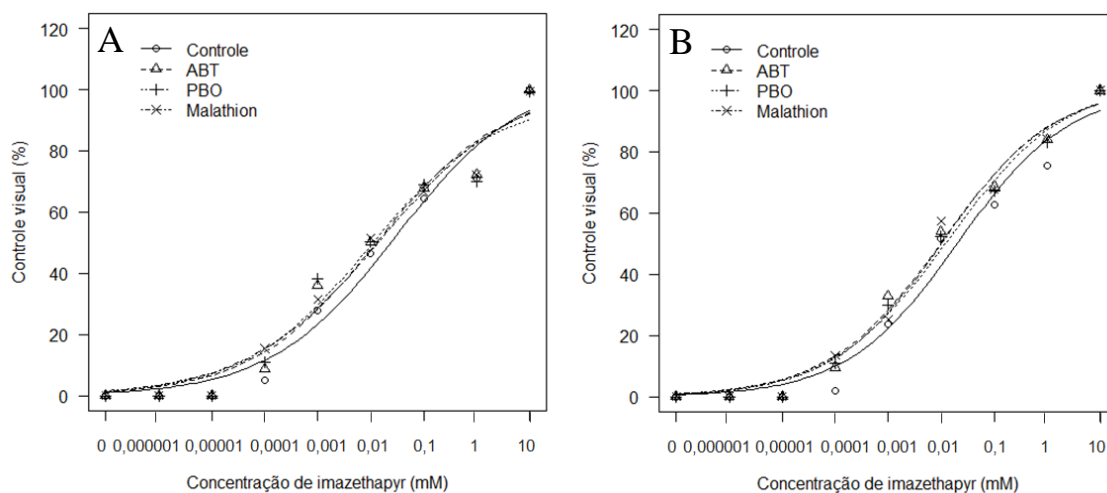


FIGURA 31. Controle visual (%) na média de seis biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 6 (A) e 9 DAT (B), com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 22.

TABELA 22. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual na média de seis biótipos de capim-arroz, aos 6 e 9 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com e sem a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Tratamento	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- 6 DAT -----						
Controle	-0,36**	104,16**	0,0298**	(0,0139; 0,0457)		
ABT	-0,36**	99,72**	0,0125**	(0,0065; 0,01853)	2,38 ^{NS}	(0,631; 4,129)
PBO	-0,36**	97,72**	0,0094**	(0,0047; 0,0140)	3,17 ^{NS}	(0,473; 5,847)
Malathion	-0,34**	102,41**	0,0158**	(0,0072; 0,0244)	1,88 ^{NS}	(0,624; 3,136)
----- 9 DAT -----						
Controle	-0,41**	100,59**	0,0206**	(0,0117; 0,0295)		
ABT	-0,41**	101,55**	0,010**	(0,0066; 0,0141)	2,06 ^{NS}	(0,95; 3,17)
PBO	-0,39**	103,60**	0,0143**	(0,0087; 0,0198)	1,44 ^{NS}	(0,72; 2,16)
Malathion	-0,42**	101,37**	0,0107**	(0,0071; 0,0143)	1,93 ^{NS}	(0,85; 2,99)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do tratamento controle / C_{50} do tratamento com inibidor.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

Os inibidores de metabolização ABT, PBO e malathion, aplicados previamente ao imazethapyr, reduziram o fator de resistência de três dos seis biótipos de capim-arroz, na avaliação de controle visual aos 12 e 14 DAT. O biótipo PALMS01 tornou-se de 3,0 a 5,8 vezes mais suscetível após a aplicação prévia dos inibidores de metabolização (Figura 32B; Tabela 23), na avaliação aos 12 DAT. O ARRGR01 tornou-se 2,3 a 3,1 vezes mais suscetível nos tratamentos que receberam previamente os inibidores de metabolização (Figura 32D; Tabela 23), na mesma avaliação. O fator de resistência do biótipo CACHS50 foi reduzido com a aplicação prévia dos inibidores de PBO e malathion em 2,1 e 1,6 vezes, respectivamente. A aplicação de ABT não causou efeito significativo no fator de resistência deste biótipo na avaliação aos 12 DAT. O biótipo suscetível SUSSP01 e os resistentes CAMAQ01 e MOSTS51 não apresentaram

diferença significativa no fator de resistência quando expostos aos inibidores de metabolização previamente ao tratamento herbicida aos 12 DAT.

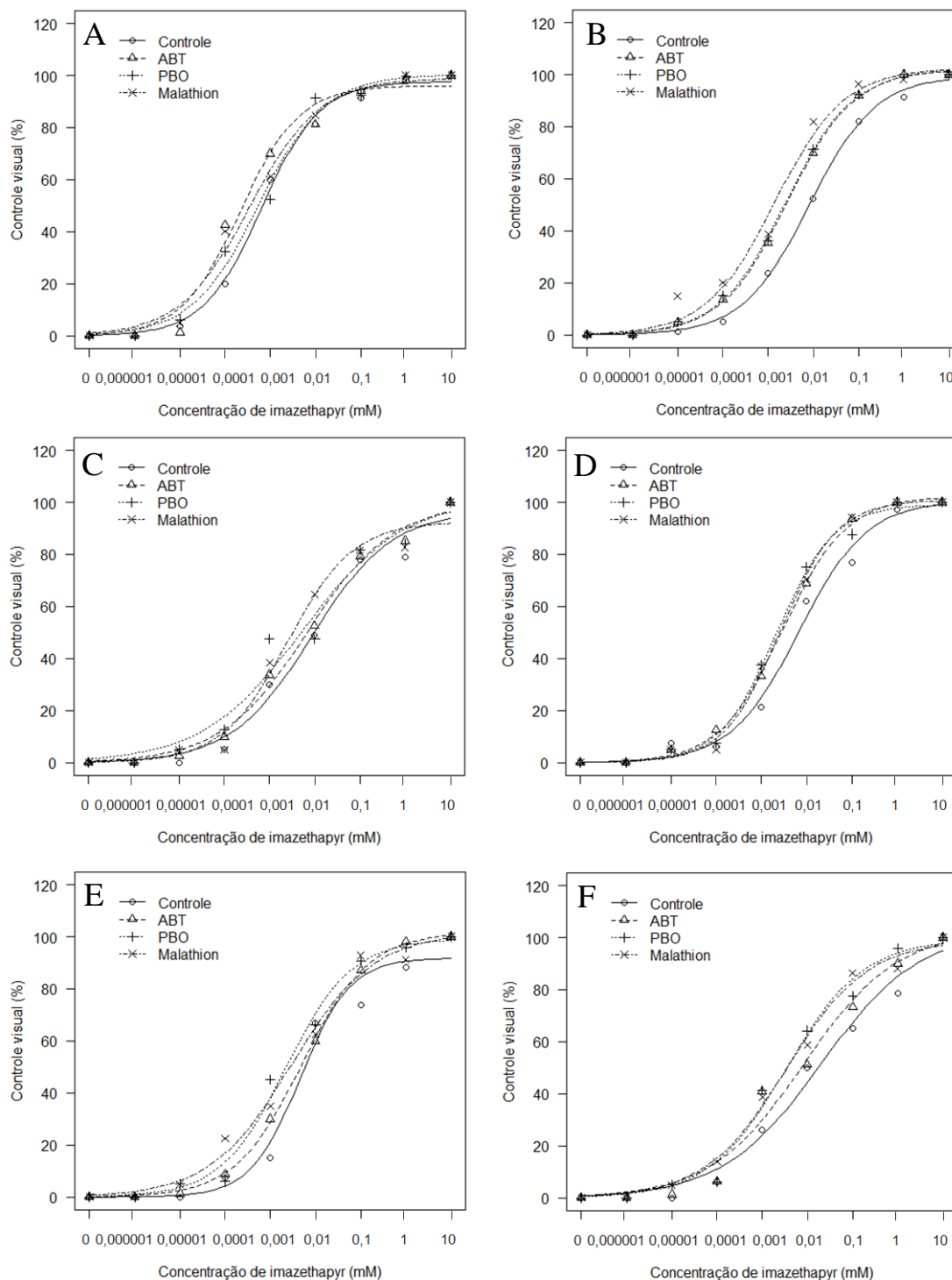


FIGURA 32. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 12 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 23.

TABELA 23. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 12 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Tratamento	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- SUSSP01 -----						
Controle	-0,68**	97,71**	0,00063**	(0,0005; 0,0008)		
ABT	-0,67**	96,09**	0,00022**	(0,00009; 0,00059)	2,86 ^{NS}	(0,79; 4,93)
PBO	-0,59**	100,35**	0,00054**	(0,00039; 0,00071)	1,16 ^{NS}	(0,26; 2,06)
Malathion	-0,56**	98,97**	0,00035**	(0,00024; 0,00046)	1,80 ^{NS}	(0,73; 2,68)
----- PALMS01 -----						
Controle	-0,59**	99,56**	0,0081**	(0,0058; 0,0103)		
ABT	-0,59**	102,10**	0,0027**	(0,0020; 0,0033)	3,00**	(1,98; 4,02)
PBO	-0,59**	102,12**	0,0025**	(0,0019; 0,0030)	3,24**	(2,08; 4,40)
Malathion	-0,57**	102,48**	0,0014**	(0,0011; 0,0017)	5,79**	(3,03; 8,54)
----- CAMAQ01 -----						
Controle	-0,49**	96,69**	0,0085**	(0,0045; 0,0120)		
ABT	-0,46**	99,79**	0,0067**	(0,0035; 0,0099)	1,27 ^{NS}	(0,43; 2,11)
PBO	-0,39**	101,55**	0,0054**	(0,002; 0,0086)	1,57 ^{NS}	(0,38; 2,76)
Malathion	-0,59**	92,62**	0,0025**	(0,0016; 0,0034)	3,40 ^{NS}	(-0,24; 7,04)
----- ARRGR01 -----						
Controle	-0,58**	100,66**	0,0068**	(0,0049; 0,0087)		
ABT	-0,62**	102,33**	0,0030**	(0,0024; 0,0036)	2,26**	(1,49; 3,02)
PBO	-0,69**	99,19**	0,0022**	(0,0017; 0,0026)	3,09**	(1,84; 4,34)
Malathion	-0,69**	100,92**	0,0026**	(0,0021; 0,0032)	2,61**	(1,67; 3,55)
----- CACHS50 -----						
Controle	-0,79**	91,87**	0,0047**	(0,0040; 0,0054)		
ABT	-0,59**	101,18**	0,0050**	(0,0048; 0,0052)	0,94 ^{NS}	(0,51; 1,37)
PBO	-0,60**	99,24**	0,0022**	(0,0017; 0,0027)	2,14*	(1,35; 2,94)
Malathion	-0,48**	101,59**	0,0029**	(0,0024; 0,0034)	1,62*	(1,14; 2,10)
----- MOSTS51 -----						
Controle	-0,40**	102,86**	0,0199**	(0,0072; 0,0326)		
ABT	-0,42**	102,68**	0,0082**	(0,0043; 0,0122)	2,43 ^{NS}	(0,51; 4,35)
PBO	-0,51**	99,35**	0,0034**	(0,0022; 0,0046)	5,85 ^{NS}	(-1,94; 13,64)
Malathion	-0,48**	99,17**	0,0034**	(0,0022; 0,0046)	5,84 ^{NS}	(-1,78; 13,46)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do tratamento controle/ C_{50} do tratamento com inibidor.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

Na avaliação aos 14 DAT, o fator de resistência dos biótipos PALMS01, ARRGR01 e CACHS50, em relação ao controle sem aplicação, foi reduzido significativamente devido ao efeito dos inibidores de metabolização (Figura 33; Tabela 24). A exceção foi o uso de malathion que não teve efeito significativo no biótipo ARRGR01. A redução do fator de resistência nesta avaliação variou entre os biótipos. No biótipo PALMS01, verificou-se redução entre 18 e 19 vezes. Para o biótipo ARRGR01, a redução do fator de resistência foi de 2,11 vezes com a aplicação prévia de ABT e PBO, quando comparado ao controle sem aplicação. Outro biótipo avaliado que apresentou significativa redução do fator de resistência foi o CACHS50, que variou de 1,76 a 2,28, conforme o inibidor utilizado.

Ao se comparar a magnitude de redução de fator de resistência ocasionada pela aplicação prévia dos inibidores de metabolização entre os biótipos resistentes PALMS01, ARRGR01 e CACHS50 e o suscetível SUSSP01 (Figura 29; Tabela 20), constata-se que os inibidores reduziram, em média, 40, 30 e 17% o fator de resistência, respectivamente. Os inibidores de metabolismo, aplicados previamente ao herbicida imazethapyr, reduziram o fator de resistência de três dos cinco biótipos analisados. Os outros dois biótipos resistentes avaliados não apresentaram redução significativa do fator de resistência com uso dos inibidores, assim como o biótipo suscetível.

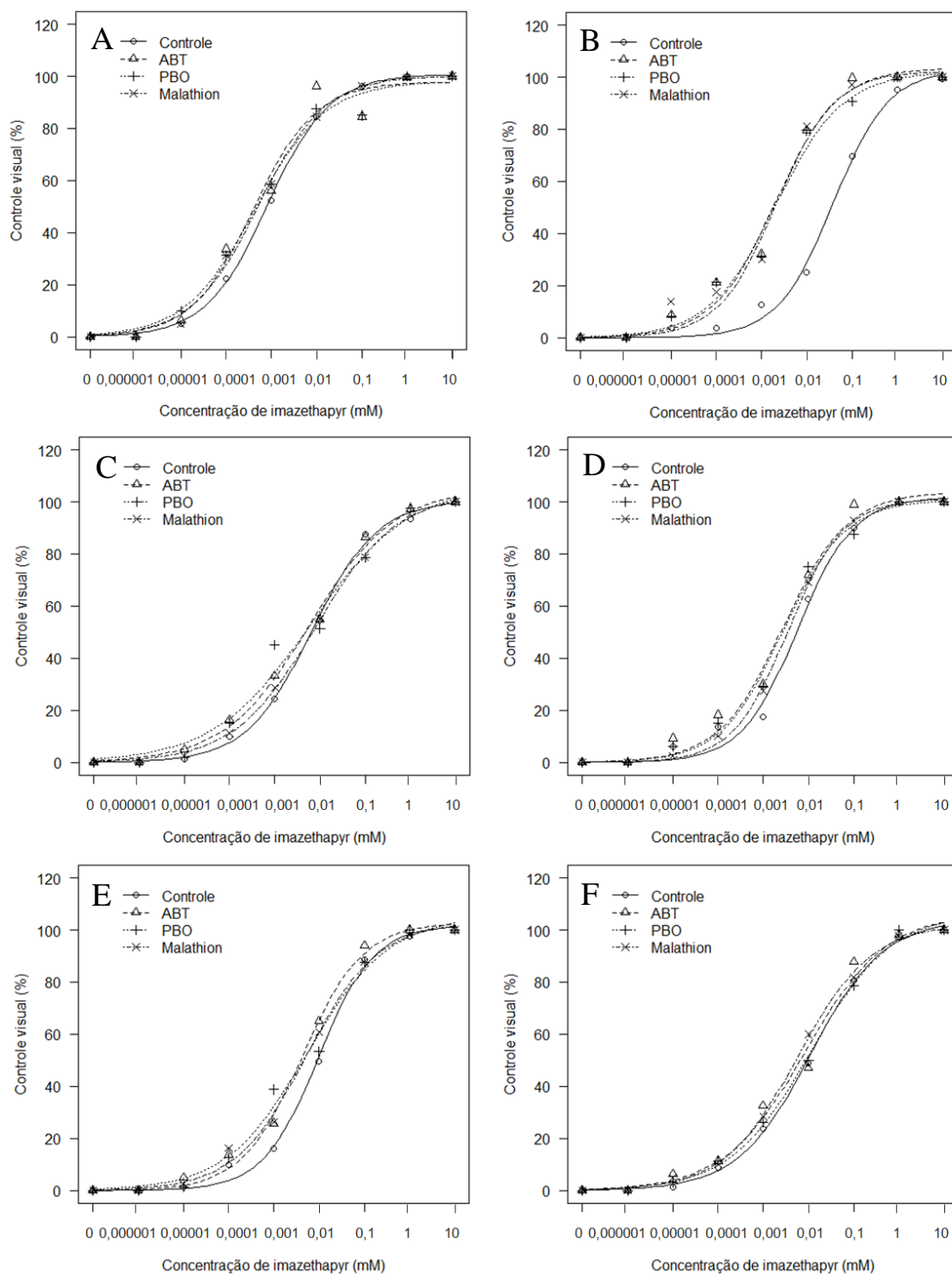


FIGURA 33. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 24.

TABELA 24. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Tratamento	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- SUSSP01 -----						
Controle	-0,63**	100,78**	0,00082**	(0,00056; 0,001)		
ABT	-0,63**	97,96**	0,00041**	(0,0002; 0,00059)	2,01 ^{NS}	(0,74; 3,3)
PBO	-0,56**	98,09**	0,00044**	(0,00028; 0,00059)	1,85 ^{NS}	(-0,2; 3,9)
Malathion	-0,59**	100,19**	0,00051**	(0,00034; 0,00068)	1,59 ^{NS}	(-0,39; 3,6)
----- PALMS01 -----						
Controle	-0,71**	102,89**	0,038**	(0,026; 0,050)		
ABT	-0,63**	103,54**	0,002**	(0,0014; 0,0026)	19,0**	(10,75; 27,25)
PBO	-0,58**	102,08**	0,0021**	(0,0014; 0,0027)	18,1**	(10,21; 25,99)
Malathion	-0,68**	102,34**	0,0021**	(0,0015; 0,0027)	18,1**	(10,39; 25,81)
----- CAMAQ01 -----						
Controle	-0,60**	100,75**	0,0066**	(0,0042; 0,009)		
ABT	-0,46**	105,75**	0,0058**	(0,0033; 0,008)	1,14 ^{NS}	(0,50; 1,78)
PBO	-0,40**	106,65**	0,0064**	(0,0027; 0,01)	1,03 ^{NS}	(0,47; 1,59)
Malathion	-0,48**	103,48**	0,0078**	(0,004; 0,011)	0,8 ^{NS}	(0,40; 1,19)
----- ARRGR01 -----						
Controle	-0,70**	101,85**	0,0057**	(0,0042; 0,0072)		
ABT	-0,61**	103,85**	0,0027**	(0,0020; 0,0035)	2,11*	(1,36; 2,86)
PBO	-0,63**	100,84**	0,0027**	(0,0019; 0,0035)	2,11*	(1,35; 2,87)
Malathion	-0,71**	101,27**	0,0036**	(0,0027; 0,0045)	1,5 ^{NS}	(0,98; 2,02)
----- CACHS50 -----						
Controle	-0,71**	101,92**	0,0097**	(0,0068; 0,0126)		
ABT	-0,64**	102,86**	0,0042**	(0,0029; 0,0055)	2,28*	(1,33; 3,27)
PBO	-0,48**	105,32**	0,0055**	(0,0050; 0,0060)	1,76*	(1,28; 2,24)
Malathion	-0,55**	103,10**	0,0052**	(0,0047; 0,0057)	1,87*	(1,31; 2,43)
----- MOSTS51 -----						
Controle	-0,54**	104,06**	0,011**	(0,0080; 0,0143)		
ABT	-0,48**	106,54**	0,008**	(0,0069; 0,0144)	1,37 ^{NS}	(0,71; 1,85)
PBO	-0,49**	106,65**	0,011**	(0,0080; 0,0144)	1,00 ^{NS}	(0,61; 1,38)
Malathion	-0,53**	102,47**	0,0058**	(0,0041; 0,0073)	1,89 ^{NS}	(0,81; 2,97)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Concentração do herbicida imazethapyr que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} do tratamento controle/ C_{50} do tratamento com inibidor.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A avaliação de massa seca aos 14 DAT, assim como a análise de controle visual aos 6 e 9 DAT, não indicaram diferença significativa na eficácia do herbicida imazethapyr após a aplicação prévia de inibidores de metabolização, em relação ao controle sem aplicação, na média dos biótipos analisados (Figura 34; Tabela 25). A redução do fator de resistência encontrada em alguns biótipos na análise de controle visual não repercutiu na redução significativa da massa seca.

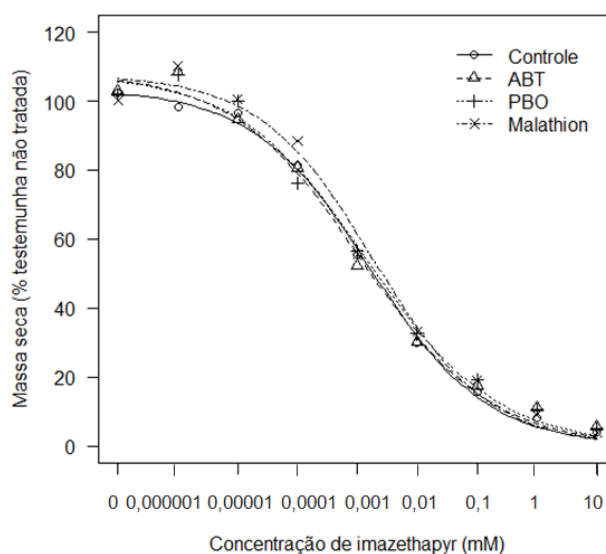


FIGURA 34. Redução da massa seca da parte aérea (%) de capim-arroz, na média de seis biótipos, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de imazethapyr, aos 14 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 25.

TABELA 25. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 14 DAT, submetido a diferentes concentrações de imazethapyr com a aplicação prévia de inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Tratamento	b ^{1/}	d ^{2/}	GR_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
Controle	0,44**	103,55**	0,0016**	(0,0009; 0,0023)		
ABT	0,41**	108,44**	0,0011**	(0,0006; 0,0017)	1,45 ^{NS}	(0,54; 2,36)
PBO	0,40**	107,98**	0,0014**	(0,0007; 0,0021)	1,14 ^{NS}	(0,50; 1,78)
Malathion	0,45**	107,62**	0,0019**	(0,0011; 0,0027)	0,84 ^{NS}	(0,39; 1,29)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; GR_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = GR_{50} do tratamento controle / GR_{50} do tratamento com inibidor.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.2.2 Quinlorac

Verificou-se diferença significativa dos efeitos simples dos fatores concentração de quinlorac, biótipos e inibidores, nas duas avaliações visuais e na análise da massa seca da parte aérea (Apêndice 3). A interação inibidor e biótipo foi significativa na avaliação de controle visual aos 5 DAT. Na avaliação de controle visual e na análise da massa seca da parte aérea de capim-arroz aos 7 DAT, a interação entre inibidor e biótipo não foi significativa. Desta forma, será apresentado o efeito de diferentes concentrações de quinlorac em relação aos biótipos analisados e, posteriormente, o efeito de inibidores de metabolização em cada biótipo na avaliação visual realizada aos 5 DAT e na média dos biótipos nas demais avaliações.

A comparação do efeito de concentrações de quinlorac para controle nos diferentes biótipos teve efeito similar entre as duas avaliações visuais e em relação ao decréscimo da massa seca da parte aérea (Figuras 35 e 36; Tabela 26). Os biótipos ARRGR01 e MOSTS51, classificados previamente como resistentes a quinlorac, obtiveram elevado fator de resistência em relação ao biótipo suscetível SUSSP01 nas três avaliações realizadas. Os fatores de resistência variaram entre 266 e 525 e entre 262 e 290 para os biótipos ARRGR01 e MOSTS51, respectivamente (Tabela 26). O biótipo PALMS01 não diferiu significativamente do suscetível nas três avaliações realizadas. Os biótipos CAMAQ01 e CACHS50 foram significativamente mais resistentes do que o suscetível SUSSP01, com fatores de resistência variando entre 1,9 e 2,3 e entre 2,8 e 3,7, respectivamente, na análise de controle visual (Tabela 26). A redução da massa seca em relação à testemunha não tratada confirmou a resistência do biótipo CACHS50, porém não a do CAMAQ01.

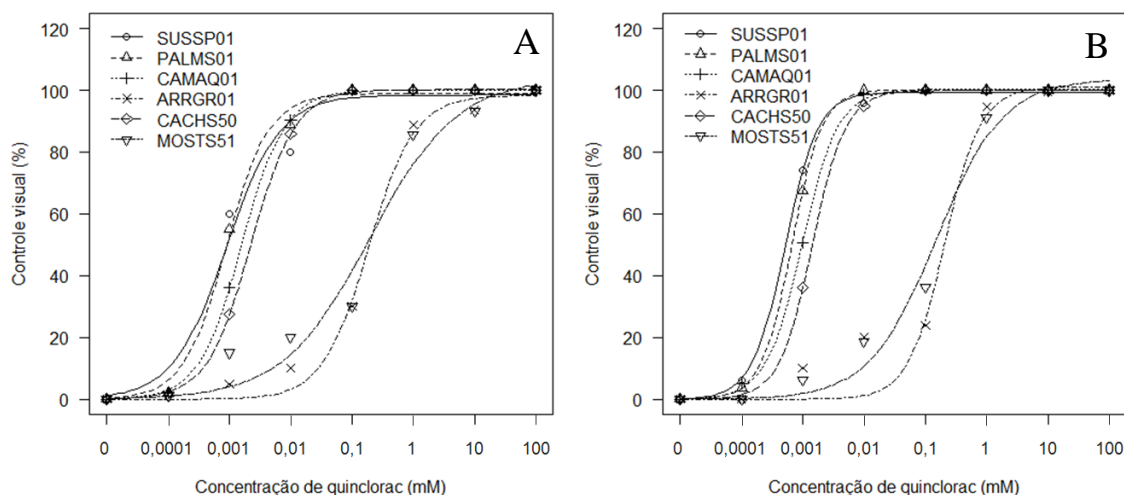


FIGURA 35. Controle visual (%) de seis biótipos de capim-arroz em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 5 (A) e 7 DAT (B), em condição hidropônica. Equações na Tabela 26.

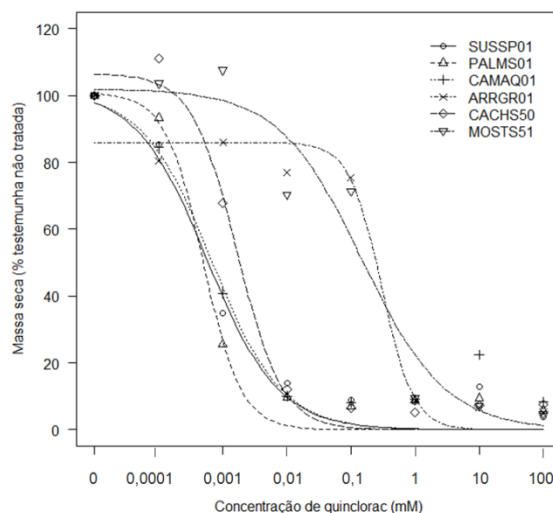


FIGURA 36. Redução da massa seca da parte aérea (%) de seis biótipos capim-arroz, em relação à testemunha não tratada, em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 7 DAT, em condição hidropônica. Equações na Tabela 26.

TABELA 26. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual, aos 5 e 7 DAT, e massa seca da parte aérea em relação a testemunha não tratada de capim-arroz, submetido a diferentes concentrações de quinclorac, em condição hidropônica.

Biótipo	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- 5 DAT -----						
SUSSP01	-1,38**	97,78**	0,0007**	(0,0006; 0,0008)		
PALMS01	-1,24**	98,96**	0,00098**	(0,00082; 0,00114)	1,40 ^{NS}	(0,54; 2,26)
CAMAQ01	-1,24**	100,07**	0,00159**	(0,00143; 0,00174)	2,27*	(1,49; 3,05)
ARRGR01	-1,15**	98,37**	0,1864**	(0,12598; 0,24682)	266,29**	(181,64; 350,94)
CACHS50	-1,21**	100,21**	0,0026**	(0,00226; 0,00294)	3,71*	(2,42; 4,99)
MOSTS51	-0,61**	103,97**	0,1945**	(0,1023; 0,2867)	277,86**	(196,20; 359,52)
----- 7 DAT -----						
SUSSP01	-1,61**	99,35**	0,00052**	(0,00044; 0,00059)		
PALMS01	-1,74**	100,17**	0,00066**	(0,00057; 0,00076)	1,27 ^{NS}	(0,95; 1,59)
CAMAQ01	-1,46**	100,38**	0,00097**	(0,00086; 0,00108)	1,87*	(1,43; 2,31)
ARRGR01	-1,46**	101,05**	0,20589**	(0,17091; 0,24087)	395,94**	(343,47; 448,41)
CACHS50	-1,58**	99,92**	0,00144**	(0,00120; 0,00168)	2,77*	(2,15; 3,39)
MOSTS51	-0,79**	103,66**	0,15060**	(0,11880; 0,18240)	289,62**	(226,50; 352,74)
----- Massa seca -----						
SUSSP01	0,78**	101,88**	0,00057**	(0,00025; 0,00089)		
PALMS01	1,47**	100,81**	0,00050**	(0,00025; 0,00075)	0,88 ^{NS}	(0,29; 1,47)
CAMAQ01	0,80**	101,09**	0,00067*	(0,00023; 0,00112)	1,17 ^{NS}	(0,28; 2,06)
ARRGR01	1,74**	85,98**	0,29911**	(0,14011; 0,45811)	524,75**	(365,75; 683,75)
CACHS50	1,24**	106,53**	0,00167**	(0,00095; 0,00238)	2,93*	(1,82; 4,04)
MOSTS51	0,67**	101,99**	0,14929*	(0,04470; 0,253304)	261,91**	(134,71; 389,11)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; C ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do biótipo analisado/ C_{50} ou GR_{50} do biótipo SUSSP01.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

A aplicação prévia dos inibidores de metabolização, aos 5 DAT, reduziu o FR nos biótipos CAMAQ01 e CACHS50 (Figura 37C,E; Tabela 27). Na mesma avaliação, comparativamente com o biótipo suscetível, a aplicação prévia dos inibidores reduziu o FR em 120 e 62% para os biótipos CAMAQ01 e CACHS50, respectivamente, na média dos tratamentos com inibidores aplicados previamente. A eficácia de quinclorac no

controle dos biótipos resistentes ARRGR01 e MOSTS51 e dos biótipos suscetíveis a quinclorac não foi influenciada pela aplicação prévia dos inibidores de metabolização.

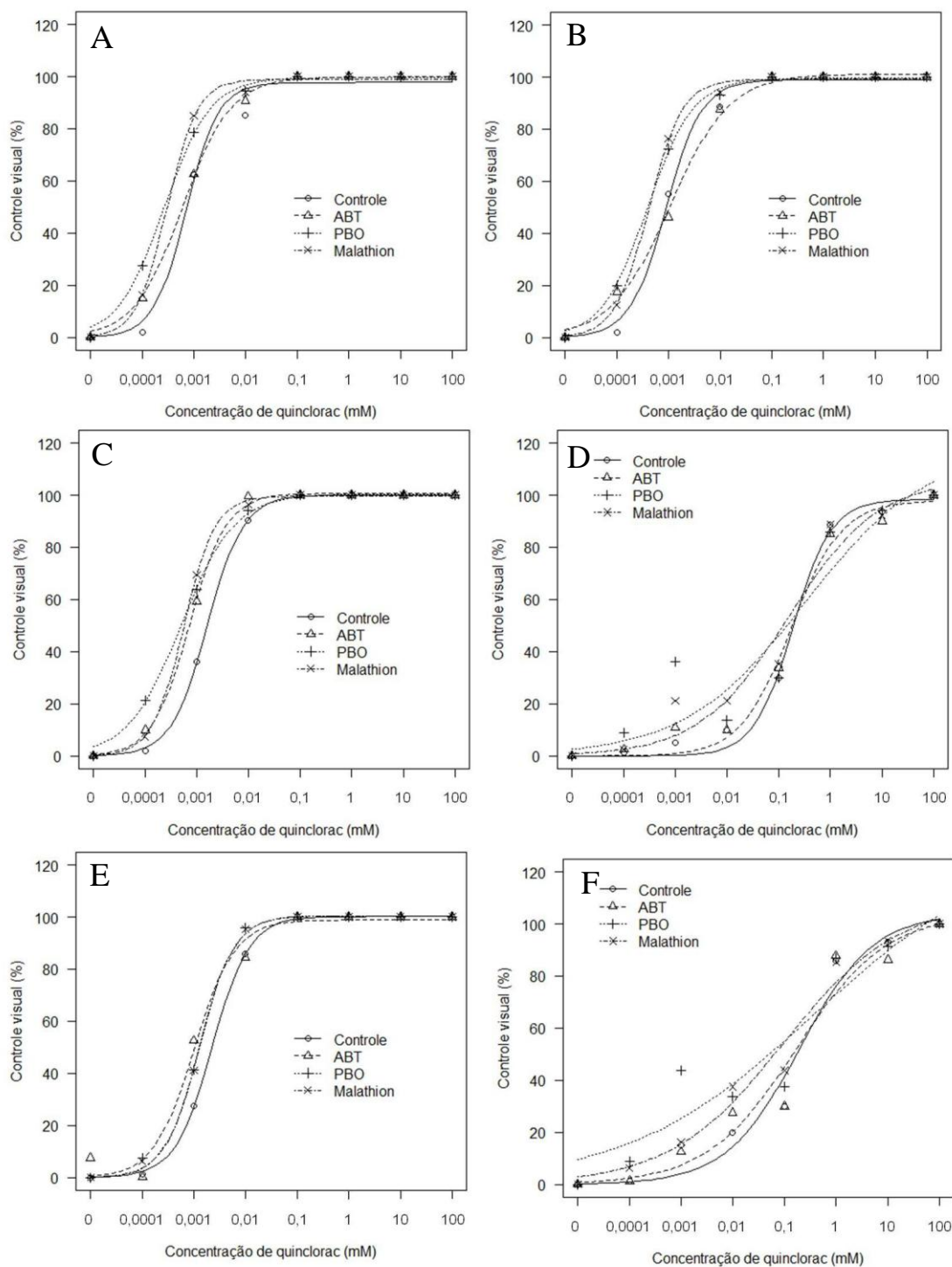


FIGURA 37. Controle visual (%) dos biótipos SUSSP01 (A), PALMS01 (B), CAMAQ01 (C), ARRGR01 (D), CACHS50 (E) e MOSTS51 (F) de capim-arroz em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 5 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 27.

TABELA 27. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para a variável controle visual de seis biótipos de capim-arroz, aos 5 DAT, submetido a diferentes concentrações de quinclorac com a aplicação prévia de inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Inibidor	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC ^{5/} 95%
----- SUSSP01 -----						
Controle	-1,38**	97,78**	0,0007**	(0,0006; 0,0008)		
ABT	-0,93**	99,86**	0,0006**	(0,0005; 0,0007)	1,17 ^{NS}	(0,90; 1,44)
PBO	-0,97**	99,65**	0,0003**	(0,00022; 0,00031)	2,33 ^{NS}	(0,74; 3,92)
Malathion	-1,47**	98,99**	0,0003**	(0,00025; 0,00035)	2,33 ^{NS}	(0,42; 4,24)
----- PALMS01 -----						
Controle	-1,24**	98,96**	0,00098**	(0,00082; 0,00114)		
ABT	-0,76**	101,16**	0,00107**	(0,00081; 0,00135)	0,92 ^{NS}	(0,57; 1,17)
PBO	-0,99**	99,61**	0,00039**	(0,00031; 0,00047)	2,51 ^{NS}	(0,89; 4,13)
Malathion	-1,33**	99,18**	0,00042**	(0,00032; 0,00048)	2,33 ^{NS}	(0,88; 3,77)
----- CAMAQ01 -----						
Controle	-1,24**	100,07**	0,00159**	(0,00143; 0,00174)		
ABT	-1,20**	100,66**	0,00072**	(0,00065; 0,00078)	2,21**	(1,91; 2,51)
PBO	-0,84**	100,51**	0,00049**	(0,00044; 0,00056)	3,25**	(2,73; 3,77)
Malathion	-1,42**	99,67**	0,00056**	(-0,00045; 0,00056)	2,84**	(2,41; 3,27)
----- ARRGR01 -----						
Controle	-1,15**	98,37**	0,1864**	(0,12598; 0,24682)		
ABT	-0,89**	97,90**	0,1738**	(0,11338; 0,23422)	1,07 ^{NS}	(0,59; 1,55)
PBO	-0,37**	117,92**	0,3282 ^{NS}	(-0,00379; 0,66019)	0,57 ^{NS}	(0,38; 0,76)
Malathion	-0,50**	106,22**	0,1525**	(0,06728; 0,23772)	1,22 ^{NS}	(0,62; 1,82)
----- CACHS50 -----						
Controle	-1,21**	100,21**	0,0026**	(0,00226; 0,00294)		
ABT	-1,11**	98,87**	0,0010**	(0,00084; 0,00116)	2,6**	(2,12; 3,08)
PBO	-1,28**	100,53**	0,0013**	(0,00114; 0,00146)	2,00**	(1,71; 2,29)
Malathion	-1,29**	100,39**	0,0013**	(0,00114; 0,00146)	2,00**	(1,71; 2,29)
----- MOSTS51 -----						
Controle	-0,61**	103,97**	0,1945**	(0,1023; 0,2867)		
ABT	-0,50**	103,97**	0,1686**	(0,0637; 0,2735)	1,15 ^{NS}	(0,24; 2,06)
PBO	-0,24**	130,09**	0,3621 ^{NS}	(-0,4647; 1,1889)	0,54 ^{NS}	(0,24; 0,84)
Malathion	-0,39**	108,86**	0,0978**	(0,0151; 0,1805)	1,99 ^{NS}	(-0,36; 4,34)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito do fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC ^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR ^{6/} fator de resistência = C_{50} do tratamento controle/ C_{50} do tratamento com inibidor.

** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

ABT, PBO e malathion, aplicados previamente, não proporcionaram diferença na eficácia do quinclorac na média dos seis biótipos nas avaliações de controle visual e redução da massa seca da parte aérea aos 7 DAT (Figura 38; Tabela 28).

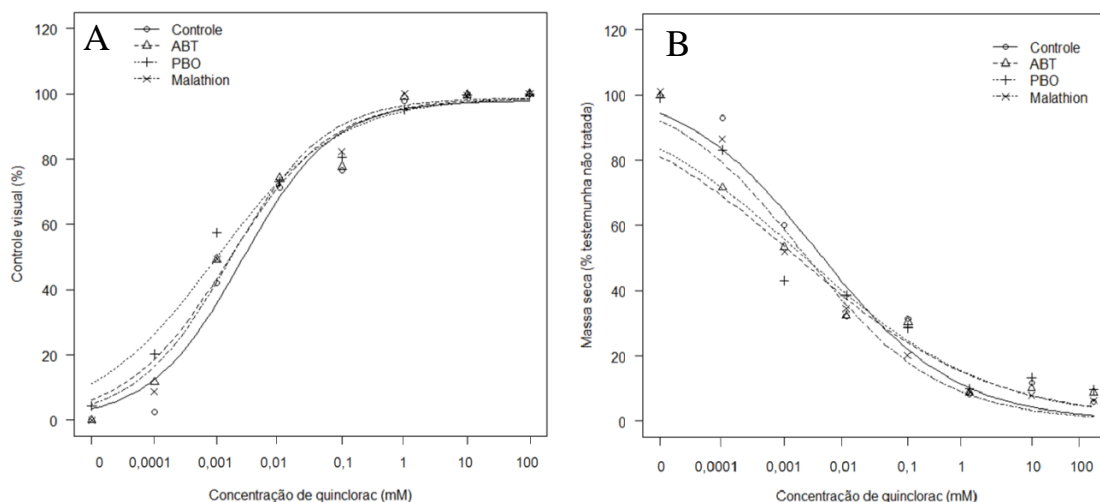


FIGURA 38. Controle visual (%) de capim-arroz (A) e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada (B), na média dos seis biótipos em função de diferentes concentrações de quinclorac, aos 7 DAT, com aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica. Equações na Tabela 28.

TABELA 28. Parâmetros da equação logística e fator de resistência (FR) para as variáveis controle visual e redução da massa seca da parte aérea em relação à testemunha não tratada de capim-arroz, aos 7 DAT, submetidos a diferentes concentrações de quinclorac com a aplicação prévia de três inibidores de metabolização, em condição hidropônica.

Inibidor	b ^{1/}	d ^{2/}	C_{50} ou GR_{50} ^{3/}		Fator de resistência	
			Concentração ^{4/}	IC ^{5/} 95%	FR ^{6/}	IC95%
----- 7 DAT -----						
Controle	-0,60**	97,89**	0,00248**	(0,00048; 0,00264)		
ABT	-0,53**	98,62**	0,00156**	(0,00026; 0,00166)	1,59 ^{NS}	(0,60; 2,58)
PBO	-0,45**	98,89**	0,00096**	(0,00117; 0,00209)	2,58 ^{NS}	(0,37; 4,79)
Malathion	-0,58**	98,84**	0,00163**	(-0,00064; 0,00064)	1,52 ^{NS}	(-0,90; 3,94)
----- Massa seca -----						
Controle	0,39**	103,76**	0,00355**	(0,00155; 0,00555)		
ABT	0,28**	100,47**	0,00163**	(0,00033; 0,00287)	2,18 ^{NS}	(0,08; 4,28)
PBO	0,29**	101,40**	0,00201**	(0,00054; 0,00346)	1,77 ^{NS}	(0,28; 3,26)
Malathion	0,40**	103,20**	0,00204**	(0,00087; 0,00319)	1,74 ^{NS}	(0,28; 3,20)

b ^{1/} Declividade da curva; d ^{2/} Limite superior; C_{50} ou GR_{50} ^{3/} Concentração do herbicida que causa 50% de efeito no fator analisado; ^{4/} Concentração em mM; IC^{5/} 95% Intervalo de confiança a 95% de probabilidade; FR^{6/} fator de resistência = C_{50} ou GR_{50} do tratamento controle/ C_{50} ou GR_{50} com inibidor. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} Não-significativo.

4.2.3 Experimento em condições de campo

4.2.3.1 Imazethapyr

A ANOVA não indicou diferença significativa na intoxicação da cultura do arroz em relação aos diferentes tratamentos com imazethapyr, na avaliação de controle visual aos 45 DAT e na avaliação de massa seca de capim-arroz aos 38 DAT (Apêndice 4). Por outro lado, a análise de variância foi significativa, ao nível de 5% de probabilidade, para controle visual nas avaliações aos 11, 28, 64 e 100 DAT.

A aplicação prévia de malathion ou PBO incrementou o controle do biótipo PALMS01 de capim-arroz pelo herbicida imazethapyr nas avaliações aos 11 e 28 DAT (Tabela 29). Nas demais avaliações, não se observou variação da eficácia de imazethapyr ocasionada pela aplicação prévia dos inibidores de metabolização. A injúria nas plantas de capim-arroz ocasionada pela aplicação singular de malathion e PBO não diferiu estatisticamente da testemunha sem aplicação para controle visual nas cinco épocas de avaliação e da massa seca de capim-arroz 38 DAT.

TABELA 29. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por imazethapyr, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Controle visual (%)					Massa seca (g m ⁻²)
	11 DAT*	28 DAT	45 DAT	64 DAT	100 DAT	
Testemunha	0 C ¹	0 B	0 ^{NS}	0 B	0 B	94,6 ^{NS}
PBO	5 BC	4 B	0	0 B	0 B	74,0
Malathion	0 C	0 B	0	0 B	0 B	69,9
Imazethapyr	21 B	18 B	13	11 AB	14 A	46,0
Imazethapyr + malathion	44 A	40 A	21	27 A	14 A	33,5
Imazethapyr + PBO	50 A	43 A	25	26 A	8 AB	40,7

* DAT – dias após os tratamentos

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.2.3.2 Quinclorac

Assim como na avaliação do imazethapyr, a ANOVA não demonstrou diferença significativa em relação à intoxicação da cultura. No entanto, ocorreu diferença, ao nível de 5% de probabilidade, nas avaliações de controle visual e na massa seca de capim-arroz aos 38 DAT (Apêndice 4).

A aplicação prévia de malathion ou PBO não proporcionou aumento de controle de capim-arroz por quinclorac em relação à aplicação singular do herbicida, em nenhuma das épocas de avaliação visual (Tabela 30). O mesmo foi evidenciado na avaliação de massa seca de capim-arroz aos 38 DAT. Em todas as avaliações, os tratamentos que continham o herbicida quinclorac foram superiores aos tratamentos controle ou apenas com aplicação dos inibidores de metabolização nas avaliações de controle visual e da massa seca de capim-arroz (Tabela 30).

TABELA 30. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por quinclorac, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Controle visual (%)					Massa seca (g m ⁻²)
	11 DAT*	28 DAT	45 DAT	64 DAT	100 DAT	
Testemunha	0 B ¹	0 C	0 C	0 C	0 B	94,6 A
PBO	5 B	4 C	0C	0 C	0 B	74,0 A
Malathion	0 B	0 C	0 C	0 C	0 B	69,9 A
Quinclorac	83 A	91 A	91 A	96 A	99 A	0,9 B
Quinclorac + malathion	90 A	95 A	97 A	100 A	100 A	3,5 B
Quinclorac + PBO	89 A	94 A	97 A	99 A	100 A	4,9 B

* DAT – dias após os tratamentos

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.2.3.3 Clomazone

A ANOVA indicou diferença significativa na intoxicação da cultura do arroz, no controle visual nas cinco épocas de avaliação e na massa seca de capim-arroz em relação aos diferentes tratamentos (Apêndice 4).

Aos 11 DAT, o herbicida clomazone proporcionou intoxicação significativa na cultura do arroz (Tabela 31). Nessa avaliação, a aplicação prévia dos inibidores de metabolização não ocasionou variação significativa na fitointoxicação em relação à aplicação somente de clomazone. Na avaliação aos 28 DAT, malathion ou PBO, aplicados previamente, reduziram a intoxicação da cultura de forma significativa em relação à aplicação singular de clomazone.

TABELA 31. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização na intoxicação do arroz por clomazone, em duas épocas de avaliação. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Fitointoxicação (%)	
	11 DAT*	28 DAT
Testemunha	0 B ¹	0 D
PBO	9 B	0 D
Malathion	0 B	0 D
Clomazone	56 A	21 A
Clomazone + malathion	51 A	13 B
Clomazone + PBO	55 A	5 C

* DAT – dias após os tratamentos

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

As avaliações aos 28 e 100 DAT indicaram redução da eficácia do controle de capim-arroz ocasionada por malathion e PBO, aplicados previamente, em relação ao tratamento somente com clomazone (Tabela 32). O controle aos 11, 45 e 64 DAT e a massa seca de capim-arroz aos 38 DAT não foram influenciados pela aplicação prévia dos inibidores de metabolização.

TABELA 32. Efeito da aplicação prévia de dois inibidores de metabolização no controle de capim-arroz por clomazone, em cinco épocas de avaliação, e na massa seca de capim-arroz, aos 38 DAT. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Controle visual (%)					Massa seca (g m ²)
	11 DAT*	28 DAT	45 DAT	64 DAT	100 DAT	
Testemunha	0 B ¹	0 C	0 B	0 B	0 D	94,6 A
PBO	5 B	4 C	0 B	0 B	0 D	74,0 A
Malathion	0 B	0 C	0 B	0 B	0 D	69,9 A
Clomazone	83 A	90 A	90 A	83 A	71 A	2,8 B
Clomazone + malathion	83 A	79 B	84 A	76 A	30 C	34,7 AB
Clomazone + PBO	83 A	72 B	83 A	68 A	51 B	31,4 AB

* DAT – dias após os tratamentos

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo

A rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou associações entre esses são alternativas para controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas. No entanto, biótipos de plantas daninhas cujo mecanismo de resistência é a metabolização de herbicidas podem evoluir resistência a herbicidas nunca antes utilizados. Outro aspecto relevante é a ocorrência de interações de herbicidas, que podem aumentar ou reduzir a eficácia de controle. Para aumentar o entendimento do efeito de herbicidas de diferentes mecanismos de ação em um biótipo de capim-arroz resistente a inibidores de ALS e, assim, auxiliar na tomada de decisão na escolha de herbicidas alternativos a esse grupo químico, foram avaliados os principais herbicidas registrados para a cultura do arroz irrigado, com indicação de eficiência de controle de capim-arroz, e os principais indicadores da competição interespecífica que podem estar relacionados à manutenção do potencial produtivo da cultura.

No primeiro momento serão apresentados os resultados de intoxicação da cultura do arroz proporcionada pelos tratamentos herbicida. Posteriormente, o efeito dos

tratamentos na densidade de plantas e no controle de capim-arroz. Na sequência, será apresentado os resultados de eficácia de controle de capim-arroz das interações entre os herbicidas, em comparação ao efeito esperado dos herbicidas aplicados isoladamente. Por último, será apresentado o rendimento de grãos de arroz em relação aos diferentes tratamentos aspergidos para o controle de plantas daninhas.

4.3.1 Intoxicação da cultura do arroz

A ANOVA demonstrou diferença significativa de intoxicação de plantas de arroz entre os tratamentos aplicados aos 28 dias após os tratamentos dos herbicidas em pré-emergência ($\text{DAT}_{\text{pré}}$). O herbicida clomazone foi o único herbicida pré-emergente que causou fitointoxicação significativa, independentemente da formulação utilizada de suspensão de encapsulado ou concentrado emulsionável, não apresentando diferença significativa entre ambos (Tabela 33). Não foi observada intoxicação das plantas de arroz nos tratamentos com imazapyr + imazapic, thiobencarb ou pendimethalin.

A avaliação de intoxicação de plantas de arroz aos 43 dias após a semeadura da cultura, que corresponde a 39 dias após a aplicação dos tratamentos em pré-emergência ($\text{DAT}_{\text{pré}}$) e 11 dias após tratamentos em pós-emergência ($\text{DAT}_{\text{pós}}$), apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 33). Os tratamentos com clomazone em pré e pós-emergência, bispyribac-sodium e profoxydim causaram as maiores intoxicações no arroz, não apresentando diferença significativa entre eles na maioria dos tratamentos. Fenoxaprop-P-ethyl causou fitointoxicação intermediária entre esses e os demais tratamentos. A mistura entre herbicidas não causou variação da intoxicação das plantas de arroz em comparação com o efeito dos herbicidas isolados. Aos 56 $\text{DAT}_{\text{pré}}$ e 28 $\text{DAT}_{\text{pós}}$, a análise de variância não indicou diferença entre os tratamentos em relação à intoxicação na cultura (Apêndice 5).

TABELA 33. Intoxicação de plantas de arroz, em três épocas de avaliação, em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)		
		28 DAT _{pré} * 0 DAT _{pós} **	39 DAT _{pré} 11 DAT _{pós}	56 DAT _{pré} 28 DAT _{pós}
Clomazone ¹	792	43 A***	18 AB	5 ^{NS}
Clomazone ¹	800	40 A	19 AB	4
Pendimethalin ¹	1750	0 B	0 E	0
Thiobencarb ¹	5000	0 B	0 E	0
Imazapyr + imazapic ^{2a}	105 + 35	0B	0 E	0
Profoxydim ^{3a}	120	-	11 ABCDE	0
Profoxydim ^{3a}	150	-	16 ABC	0
Cyhalofop-butyl ^{3d}	360	-	0 E	0
Quinclorac ^{3c}	375	-	0 E	0
Clomazone ^{3c}	400	-	19 AB	0
Propanil + thiobencarb ³	2820 + 1200	-	0 E	0
Propanil ³	3600	-	0 E	0
Imazapyr + imazapic ^{3a}	73,5 + 24,5	-	0 E	0
Bispyribac-Na ^{3b}	50	-	18 AB	0
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	75 + 25	-	0 E	0
Penoxsulam ^{3c}	48	-	0 E	0
Fenoxaprop-P-ethyl ³	89,7	-	3 CDE	0
Imazethapyr ^{3a}	106	-	0 E	0
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	375 + 120	-	13 ABCDE	0
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	1750 + 150	0 B	23 A	0
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3e}	1750 + 375	0 B	0 E	0
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	1750 + 73,5 + 24,5	0 B	0 E	0
Pendimethalin ¹ + imazapyr+imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	0 B	15 ABCD	0
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	105 + 35 + 150	0 B	13 ABCDE	0
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	105 + 35 + 375	0 B	0 E	0
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	89,7 + 400	-	13 ABCDE	0
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	89,7 + 73,5 + 24,5	-	3 CDE	0
Fenoxaprop ³ + bispyribac-Na ^{3b}	89,7 + 50	-	9 ABCDE	0
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	89,7 + 75 + 25	-	3 CDE	0
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	89,7 + 48	-	5 BCDE	0
Testemunha	0	0 B	0 E	0

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, 1 L ha⁻¹.

* DAT_{pré} – dias após o tratamento em pré-emergência

** DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência

*** Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.3.2 Densidade de plantas de capim-arroz

A densidade de plântulas de capim-arroz foi superior nos tratamentos com imazapyr + imazapic, em relação aos tratamentos em pré-emergência com clomazone, thiobencarb ou pendimethalin, e similar à testemunha não tratada na avaliação aos 28 DAT_{pré} (Tabela 34). Os tratamentos com clomazone, thiobencarb ou pendimethalin não diferiram em relação à infestação de plântulas. A infestação de plantas no estágio de quatro a cinco folhas foi similar entre estes tratamentos. A infestação de capim-arroz, avaliada aos 66 DAT_{pré} e 38 DAT_{pós}, foi maior nos tratamentos com herbicidas inibidores de ALS em relação aos demais grupos químicos. A exceção foi o herbicida penoxsulam, que proporcionou controle satisfatório das plantas de capim-arroz, com eficácia similar a dos melhores tratamentos.

TABELA 34. Infestação de capim-arroz no estágio de plântulas e planta, aos 28 DAT_{pré} e 66 DAT_{pré} ou 38 DAT_{pós}, em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Plantas de capim-arroz (n° m ⁻²)		
		28 DAT _{pré}		66 DAT _{pré} *
		Plântulas	Plantas	38 DAT _{pós} **
Clomazone ¹	792	0 C***	308 CB	17 DE
Clomazone ¹	800	4 C	434 BC	15 DE
Pendimethalin ¹	1750	10 C	228 BC	67 CDE
Thiobencarb ¹	5000	26 C	286 BC	97 BCDE
Imazapyr + imazapic ^{2a}	105 + 35	73 A	792 A	66 CDE
Profoxydim ^{3a}	120	-	-	42 DE
Profoxydim ^{3a}	150	-	-	57 DE
Cyhalofop-butyl ^{3d}	360	-	-	73 CDE
Quinclorac ^{3e}	375	-	-	27 DE
Clomazone ^{3e}	400	-	-	108 BCD
Propanil + thiobencarb ³	2820 + 1200	-	-	44 DE
Propanil ³	3600	-	-	91 BCDE
Imazapyr + imazapic ^{3a}	73,5 + 24,5	-	-	178 AB
Bispyribac-Na ^{3b}	50	-	-	157 BC
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	75 + 25	-	-	109 BC
Penoxsulam ^{3c}	48	-	-	2 E
Fenoxaprop-P-ethyl ³	89,7	-	-	46 DE
Imazethapyr ^{3a}	106	-	-	257 A
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	375 + 120	-	-	70 CDE
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	1750 + 150	8 C	508 B	67 CDE
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3e}	1750 + 375	12 C	335 BC	28 DE
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	1750 + 73,5 + 24,5	2 C	265 BC	98 BCDE
Pendimethalin ¹ + imazapyr + imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	3 C	130 C	27 DE
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	105 + 35 + 150	35 BC	428 BC	43 DE
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	105 + 35 + 375	65 AB	318 BC	11 DE
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	89,7 + 400	-	-	15 DE
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	89,7 + 73,5 + 24,5	-	-	94 BCDE
Fenoxaprop ³ + bispyribac-Na ^{3b}	89,7 + 50	-	-	77 CDE
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	89,7 + 75 + 25	-	-	91 BCDE
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	89,7 + 48	-	-	21 DE
Testemunha	0	68 A	424 BC	181 AB

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, 1 L ha⁻¹.

* DAT_{pré} – dias após o tratamento em pré-emergência

** DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência

*** Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.3.3 Controle de capim-arroz

O controle de capim-arroz variou de forma significativa nas seis épocas de avaliação. Na primeira época, aos 28 DAT_{pré}, que contemplava o comparativo da eficácia dos herbicidas aplicados em pré-emergência, o controle de capim-arroz foi maior para os herbicidas clomazone e pendimethalin, não havendo diferença significativa entre ambos (Tabela 35). O tratamento com thiobencarb proporcionou controle inferior aos tratamentos com clomazone e com pendimethalin e superior ao tratamento com imazapyr + imazapic. O tratamento em pré-emergência de imazapyr + imazapic proporcionou menor controle que os demais tratamentos.

O controle de capim-arroz em pós-emergência foi superior nos tratamentos com os herbicidas clomazone, profoxydim e fenoxaprop-P-ethyl, propanil, quinclorac e com o herbicida penoxsulam (Tabelas 35 e 36). O tratamento com clomazone em pós-emergência proporcionou controle satisfatório na primeira avaliação, decrescendo nas avaliações seguintes. Este estudo indica baixa eficácia do herbicida clomazone aplicado em pós-emergência nas doses utilizadas. Os tratamentos com pendimethalin e thiobencarb diminuíram a eficácia no controle de capim-arroz ao longo das avaliações. Os tratamentos com herbicidas inibidores de ALS foram menos eficazes no controle de capim-arroz em todas as avaliações. No entanto, assim como avaliado na densidade de plantas de capim-arroz, o tratamento com penoxsulam resultou em controle superior aos demais tratamentos do mesmo mecanismo de ação.

TABELA 35. Controle visual (%) de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS, aos 28, 39 e 56 DAT_{pré} ou 0, 39 e 45 DAT_{pós}, em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Controle (%)		
		28 DAT _{pré} * 0 DAT _{pós} **	39 DAT _{pré} 11 DAT _{pós}	56 DAT _{pré} 28 DAT _{pós}
Clomazone ¹	792	98 A***	93 A	88 ABCD
Clomazone ¹	800	97 A	97 A	96 AB
Pendimethalin ¹	1750	93 A	58 EFG	53 GHIJ
Thiobencarb ¹	5000	73 B	44 GH	35 JKL
Imazapyr + imazapic ^{2a}	105 + 35	45 C	30 HI	46 HIJK
Profoxydim ^{3a}	120	-	89 AB	81 ABCDE
Profoxydim ^{3a}	150	-	94 A	86 ABCD
Cyhalofop-butyl ^{3d}	360	-	55 FG	68 DEFG
Quinclorac ^{3e}	375	-	83 ABC	91 ABC
Clomazone ^{3e}	400	-	79 ABCD	53 GHIJ
Propanil + thiobencarb ³	2820 + 1200	-	68 CDEF	73 CDEF
Propanil ³	3600	-	79 ABCD	75 BCDEF
Imazapyr + imazapic ^{3a}	73,5 + 24,5	-	25 I	28 KL
Bispyribac-Na ^{3b}	50	-	29 HI	19 LM
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	75 + 25	-	16 I	16 LM
Penoxsulam ^{3c}	48	-	68 CDEF	83 ABCDE
Fenoxaprop-P-ethyl ³	89,7	-	79 ABCD	78 ABCDE
Imazethapyr ^{3a}	106	-	21 I	18 LM
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	375 + 120	-	94 A	85 ABCD
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	1750 + 150	93 A	91 AB	91 ABC
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3e}	1750 + 375	98 A	88 AB	85 ABCD
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	1750 + 73,5 + 24,5	96 A	74 BCDE	69 DEFG
Pendimethalin ¹ + imazapyr+imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	94 A	95 A	97 A
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	105 + 35 + 150	45 C	91 AB	75 BCDEF
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	105 + 35 + 375	45 C	90 AB	96 ABC
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	89,7 + 400	-	88 AB	91 ABC
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	89,7 + 73,5 + 24,5	-	63 DEF	55 FGHI
Fenoxaprop ³ + bispyribac- Na ^{3b}	89,7 + 50	-	68 CDEF	64 EFGH
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	89,7 + 75 + 25	-	45 GH	40 IJK
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	89,7 + 48	-	80 ABCD	88 ABCD
Testemunha	0	0 D	0 J	0 M

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, 1 L ha⁻¹.

* DAT_{pré} – dias após o tratamento em pré-emergência

** DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência

*** Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

TABELA 36. Controle visual (%) de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS, aos 73, 92 e 128 DAT_{pré} ou 45, 64 e 100 DAT_{pós}, em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Ingrediente Ativo	Dose (g ha ⁻¹)	Controle (%)		
		73 DAT _{pré} * 45 DAT _{pós} **	92 DAT _{pré} 64 DAT _{pós}	128 DAT _{pré} 100 DAT _{pós}
Clomazone ¹	792	87 ABC***	95 A	99 A
Clomazone ¹	800	97 A	95 A	97 AB
Pendimethalin ¹	1750	49 F	70 E	59 DE
Thiobencarb ¹	5000	14 IJ	18 GH	23 GHIJ
Imazapyr + imazapic ^{2a}	105 + 35	29 GH	25 G	18 GHIJ
Profoxydim ^{3a}	120	80 BCD	79 BCDE	78 ABCD
Profoxydim ^{3a}	150	89 AB	95 A	96 AB
Cyhalofop-butyl ^{3d}	360	70 DE	78 CDE	69 CD
Quinclorac ^{3e}	375	91 AB	96 A	99 A
Clomazone ^{3e}	400	40 FG	54 F	28 FGHI
Propanil + thiobencarb ³	2820 + 1200	67 DE	66 E	37 FG
Propanil ³	3600	73 CDE	73 DE	48 EF
Imazapyr + imazapic ^{3a}	73,5 + 24,5	23 HI	24 GH	16 GHIJ
Bispyribac-Na ^{3b}	50	13 IJ	14 GH	10 IJ
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	75 + 25	14 IJ	15 GH	10 IJ
Penoxsulam ^{3c}	48	88 ABC	90 ABC	100 A
Fenoxaprop-P-ethyl ³	89,7	73 CDE	76 DE	60 DE
Imazethapyr ^{3a}	106	13 IJ	11 HI	14 HIJ
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	375 + 120	85 ABC	91 AB	91 AB
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	1750 + 150	88 ABC	92 AB	97 A
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3e}	1750 + 375	86 ABC	97 A	99 A
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	1750 + 73,5 + 24,5	65 E	76 DE	75 BCD
Pendimethalin ¹ + imazapyr + imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	97 A	95 A	95 AB
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	105 + 35 + 150	90 AB	90 ABC	93 AB
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	105 + 35 + 375	96 A	97 A	99 A
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	89,7 + 400	88 ABC	85 ABCD	89 ABC
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	89,7 + 73,5 + 24,5	48 F	49 F	33 FGH
Fenoxaprop ³ + bispyribac-Na ^{3b}	89,7 + 50	51 F	49 F	36 FG
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	89,7 + 75 + 25	39 FG	46 F	25 GHI
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	89,7 + 48	89 AB	91.5 AB	100 A
Testemunha	0	0 J	0 I	0 J

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, L ha⁻¹.

* DAT_{pré} – dias após o tratamento em pré-emergência

** DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência

*** Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

4.3.4 Efeito da associação entre herbicidas no controle de capim-arroz

A aplicação de herbicidas em associações causou efeito aditivo, sinérgico ou antagônico, variando conforme a mistura utilizada e a época de avaliação. De maneira geral, a aplicação de inibidores de ALS com inibidores de ACCase reduziu a eficácia de controle em comparação ao efeito dos herbicidas aplicados isoladamente (Tabelas 37 e 38). Misturas de fenoxaprop-P-ethyl com imazethapyr + imazapic, imazapyr + imazapic, bispyribac-sodium e com penoxsulam resultaram em antagonismo. Associação de profoxydim com quinclorac também reduziu a eficácia de controle em comparação aos produtos isolados (Tabelas 37 e 38).

Aumento da eficácia de controle ocasionada pela associação entre diferentes herbicidas também foi evidenciado. Quinclorac aplicado em associação com imazapyr + imazapic aumentou o controle de capim-arroz em relação aos produtos aplicados isoladamente (Tabela 37).

TABELA 37. Avaliação de misturas de herbicidas, aos 11, 28 e 45 DAT_{pós}, sobre capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em relação ao efeito observado (Obs) e à resposta esperada (Esp) pelo método de Colby. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	11 DAT _{pós} ¹		28 DAT _{pós}		45 DAT _{pós}	
		Obs.	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.	Esp.
Quinclorac + profoxydim	375 + 120	*94	99	85	99	85	99
Pendimethalin + profoxydim	1750 + 150	91	97	91	93	88	94
Pendimethalin + quinclorac	1750 + 375	88	92	85	96	86	95
Pendimethalin + imazapyr + imazapic	1750 + 73,5 + 24,5	74	64	69	66	65	60
Pendimethalin + imazapyr + imazapic + profoxydim	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	95	98	97	96	97	96
Imazapyr + imazapic e profoxydim	105 + 35 + 150	91	95	75	93	90	92
Imazapyr + imazapic + quinclorac	105 + 35 + 375	*90	87	96	96	*96	93
Fenoxaprop + clomazone	89,7 + 400	88	94	91	88	88	84
Fenoxaprop + imazapyr + imazapic	89,7 + 73,5 + 24,5	*63	84	*55	84	*48	79
Fenoxaprop + bispyribac-sodium	89,7 + 50	68	87	*64	85	*51	76
Fenoxaprop + imazethapyr + imazapic	89,7 + 75 + 25	*45	82	*40	81	*39	76
Fenoxaprop + penoxsulam	89,7 + 48	80	93	88	95	*89	97

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

¹DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência.

TABELA 38. Avaliação de misturas de herbicidas, aos 64 e 100 DAT_{pós}, sobre capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em relação ao efeito observado (Obs) e à resposta esperada (Esp) pelo método de Colby. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	64 DAT _{pós} ¹		100 DAT _{pós}	
		Obs.	Esp.	Obs.	Esp.
Quinclorac + profoxydim	375 + 120	**91	100	91	100
Pendimethalin + profoxydim	1750 + 150	92	98	97	98
Pendimethalin + quinclorac	1750 + 375	97	99	99	99
Pendimethalin + imazapyr + imazapic	1750 + 73,5 + 24,5	76	77	75	65
Pendimethalin + imazapyr + imazapic + profoxydim	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	95	99	95	100
Imazapyr + imazapic e profoxydim	105 + 35 + 150	90	96	93	97
Imazapyr + imazapic + quinclorac	105 + 35 + 375	97	97	99	99
Fenoxaprop + clomazone	89,7 + 400	85	100	89	71
Fenoxaprop + imazapyr + imazapic	89,7 + 73,5 + 24,5	**49	82	*33	67
Fenoxaprop + bispyribac-sodium	89,7 + 50	**49	83	36	64
Fenoxaprop + imazethapyr + imazapic	89,7 + 75 + 25	**46	80	*25	64
Fenoxaprop + penoxsulam	89,7 + 48	92	94	100	100

* significativo ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

¹DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência.

4.3.5 Rendimento de grãos de arroz

Os maiores rendimentos de grãos foram alcançados com os tratamentos que proporcionaram maior eficácia de controle de capim-arroz, dentre eles clomazone em pré-emergência, pendimethalin, inibidores de ACCase, quinclorac e penoxsulam (Tabela 39). Em contraponto, os menores rendimentos de grãos foram obtidos em tratamentos com os demais inibidores de ALS aplicados isoladamente, pelo tratamento com clomazone aplicado em pós-emergência e pela mistura de fenoxaprop-P-ethyl com bispyribac-Na, que resultou em antagonismo no controle de capim-arroz.

TABELA 39. Rendimento de grãos de arroz em função de diferentes tratamentos com herbicidas isolados ou em associação aplicados em pré ou pós-emergência para o controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Clomazone ¹	792	5678 ABCD*
Clomazone ¹	800	5392 ABCDE
Pendimethalin ¹	1750	4475 ABCDEFGHI
Thiobencarb ¹	5000	3900 EFGHIJ
Imazapyr + imazapic ^{2a}	105 + 35	3767 EFGHIJ
Profoxydim ^{3a}	120	3875 EFGHIJ
Profoxydim ^{3a}	150	4280 BCDEFGHIJ
Cyhalofop-butyl ^{3d}	360	4174 DEFGHIJ
Quinclorac ^{3e}	375	5085 ABCDEF
Clomazone ^{3e}	400	2163 K
Propanil + thiobencarb ³	2820 + 1200	33690 GHIJK
Propanil ³	3600	4071 DEFGHIJ
Imazapyr + imazapic ^{3a}	73,5 + 24,5	3358 GHIJK
Bispyribac-Na ^{3b}	50	2652 JK
Imazethapyr + imazapic ^{3a}	75 + 25	3561 FGHIJK
Penoxsulam ^{3c}	48	5404 ABCDE
Fenoxaprop-P-ethyl ³	89,7	4203 CDEFGHIJ
Imazethapyr ^{3a}	106	3141,1 HIJK
Quinclorac ³ + profoxydim ^{3a}	375 + 120	4561,9 ABCDEFGH
Pendimethalin ¹ + profoxydim ^{3a}	1750 + 150	4718,3 ABCDEFGH
Pendimethalin ¹ + quinclorac ^{3e}	1750 + 375	5825,5 ABC
Pendimethalin ¹ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	1750 + 73,5 + 24,5	5813,9 ABC
Pendimethalin ¹ + imazapyr + imazapic ³ + profoxydim ^{3a}	1751 + 73,5 + 24,5 + 150	5344,0 ABCDE
Imazapyr + imazapic ² + profoxydim ^{3a}	105 + 35 + 150	6026,9 A
Imazapyr + imazapic ² + quinclorac ^{3a}	105 + 35 + 375	5897,7 AB
Fenoxaprop ³ + clomazone ³	89,7 + 400	3931,5 EFGHIJ
Fenoxaprop ³ + imazapyr ³ + imazapic ^{3a}	89,7 + 73,5 + 24,5	4013,7 EFGHIJ
Fenoxaprop ³ + bispyribac-Na ^{3b}	89,7 + 50	2884,3 IJK
Fenoxaprop ³ + imazethapyr + imazapic ^{3a}	89,7 + 75 + 25	3660,7 FGHIJK
Fenoxaprop ³ + penoxsulam ^{3c}	89,7 + 48	4845,6 ABCDEFG
Testemunha	0	2093,6 K

¹- aplicação em pré-emergência; ²- aplicação em pré e pós-emergência; ³- aplicação em pós-emergência; ^a- Dash 0,5% v/v; ^b- Iharagueren-S 0,25% v/v; ^c- Veget Oil, 1 L ha⁻¹ ^d- Veget Oil, 1,5 L ha⁻¹; ^e- Assist, 1 L ha⁻¹.

* DAT_{pré} – dias após o tratamento em pré-emergência

** DAT_{pós} – dias após o tratamento em pós-emergência

*** Médias seguidas pela mesma letra na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

A análise de correlação linear entre os parâmetros analisados e o rendimento de grãos indicou variação dos valores estimados para o coeficiente angular, cuja significância variou de 0,08 a 0,98 (Tabela 40). Deste modo, verifica-se que nenhum dos parâmetros obtidos atingiu o nível de 5% de significância para explicar o rendimento de grãos da cultura.

TABELA 40. Análise de correlação entre os parâmetros analisados e o rendimento de grãos de arroz. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Variável analisada	Coefficiente estimado	Erro	Valor do <i>t</i>	Pr > <i>t</i>
Fitointoxicação 28 DAT _{pré} **	2,78	16,20	0,17	0,87
Fitointoxicação 11 DAT _{pós} *	- 50,94	27,64	- 1,84	0,09
Fitointoxicação 28 DAT _{pós} *	- 8,53	58,97	- 0,14	0,89
N° plântulas capim-arroz 28 DAT _{pré} **	- 2,19	1,31	- 1,67	0,13
N° plantas capim-arroz 28 DAT _{pré} **	- 1,81	10,84	- 0,17	0,87
N° plantas capim-arroz 38 DAT _{pós} *	- 0,12	5,17	- 0,02	0,98
Massa seca arroz 38 DAT _{pós} *	0,99	8,79	0,11	0,91
Massa seca capim-arroz 38 DAT _{pós} *	- 2,37	4,92	- 0,48	0,64
Controle dos pré-emergentes	9,82	12,67	0,78	0,46
Controle 11 DAT _{pós} *	40,20	20,76	1,94	0,08
Controle 28 DAT _{pós} *	10,32	17,81	0,58	0,58
Controle 45 DAT _{pós} *	28,36	43,52	0,65	0,53
Controle 64 DAT _{pós} *	11,16	26,82	0,42	0,69
Controle 100 DAT _{pós} *	31,43	34,09	0,92	0,38
Controle Arroz-vermelho 100 DAT _{pós} *	16,83	10,41	1,62	0,14
Coefficiente de variação		16,53%		

*DAT_{pós} – dias após tratamento em pós-emergência.

**DAT_{pré} – dias após tratamento em pré-emergência.

Ao se eliminar as variáveis com menor nível de significância na análise de correlação, constatou-se que a intoxicação da cultura aos 11 DAT_{pós} apresentou significância na análise de correlação (Tabela 41). Nessa avaliação, a correlação indicou que a cada percentual de fitointoxicação avaliado aos 11 DAT_{pós} reduziu o rendimento de grãos em 44 kg ha⁻¹. Na mesma data de avaliação, o aumento do controle de capim-arroz proporcionou aumento do rendimento de grãos de 62 kg ha⁻¹ para cada ponto percentual de acréscimo do controle de capim-arroz (Tabela 41).

TABELA 41. Análise de correlação entre os parâmetros com maior significância e o rendimento de grãos de arroz. Palmares do Sul/RS, 2010/11.

Variável analisada	Coefficiente estimado	Erro	Valor do <i>t</i>	Pr > <i>t</i>
Fitointoxicação 11 DAT*	- 44,10	17,02	- 2,59	0,01
Controle 11 DAT*	61,93	2,55	24,25	0,0001
Coefficiente de variação		33,30%		

*DAT – dias após a aplicação.

5 DISCUSSÃO

O desenvolvimento deste capítulo inicia discutindo os resultados obtidos nos bioensaios para diagnosticar a resistência nos estádios de sementes, plântulas e perfilhos. Posteriormente, serão discutidos os resultados encontrados com uso de inibidores de metabolização em biótipos resistentes a ALS e quinclorac obtidos em experimentos em casa de vegetação por aspersão foliar, em solução hidropônica e a campo. Por último, serão debatidos os resultados da avaliação de herbicidas de diferentes grupos químicos e suas interações no controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS.

5.1 Métodos para diagnóstico de resistência de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas

Uma das hipóteses deste trabalho era que os experimentos com sementes, plântulas e perfilhos pudessem discriminar a resistência de capim-arroz às imidazolinonas em diferentes estádios de desenvolvimento e auxiliar na tomada de decisão para controle dessa espécie de planta daninha. Os resultados obtidos mostraram que os métodos utilizados foram ineficientes para diagnosticar a resistência de capim-arroz no estádio de sementes (Tabela 5). No entanto, a discriminação entre os biótipos resistente e suscetível nos bioensaios conduzidos nos estádios de plântulas e perfilhos foi discriminada de forma satisfatória (Tabelas 6, 7 e 8).

Outro estudo com capim-arroz resistente e suscetível ao quinclorac observou que a germinação não pode ser utilizada como fator discriminante de resistência (Andres *et al.*, 2007). Neste estudo, as sementes foram submetidas a diferentes concentrações de quinclorac, e a germinação dos biótipos resistente e suscetível não foi influenciada pela dose do herbicida. Em trabalhos com variedades de arroz resistente e suscetível a imidazolinonas, a germinação de sementes também não foi uma variável adequada para discriminar a resistência (Roso *et al.*, 2010). No entanto, no mesmo trabalho, o comprimento radicular em testes com sementes de arroz distinguiu a resistência entre as variedades analisadas.

Embora não se tenha obtido sucesso na identificação da resistência pela avaliação de germinação nos trabalhos citados anteriormente, esse variável foi eficaz para identificar a resistência de *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Kunth. aos herbicidas imazosulfuron e pyrazosulfuron-ethyl (Kuk *et al.*, 2003). Nesse trabalho, a germinação do biótipo resistente foi 100 e 200 vezes maior que a do biótipo suscetível, quando tratados com os herbicidas pyrazosulfuron-ethyl e imazosulfuron, respectivamente. Além desses, outro trabalho também conseguiu diagnosticar a resistência a glyphosate em linhagens de trigo e cevada nos estádios de sementes (Escorial *et al.*, 2001). Nesse caso, a discriminação da resistência foi possível analisando o comprimento do coleóptilo aos quatro dias após os tratamentos.

A impossibilidade de diagnóstico da resistência pelos bioensaios com sementes de capim-arroz pode estar relacionada à variabilidade genética da planta daninha em comparação, por exemplo, com variedades de espécies cultivadas. A alta variabilidade natural relacionada à oscilação de germinação, vigor e dormência de sementes de capim-arroz pode ter contribuído para a não discriminação da resistência entre os biótipos avaliados. A germinação de capim-arroz pode variar consideravelmente

(Martinkova *et al.*, 2006; Bagavathiannan *et al.*, 2011) e, por consequência, interferir no crescimento inicial, principalmente em trabalhos de curta duração.

O número de dias para germinação de 100% do banco de sementes de capim-arroz variou 67%, conforme o ano e o local de avaliação, segundo trabalhos realizados no Estado de Arkansas, EUA (Bagavathiannan *et al.*, 2011). Na Argentina, pesquisas com capim-arroz indicaram grande variabilidade genotípica em relação à produção de biomassa de biótipos oriundos de diferentes regiões (Pizarro, 1999). Na Europa, trabalhos com sementes de *E. crus-galli* demonstraram oscilação na germinação conforme a idade e o tempo de armazenamento das sementes (Martinkova *et al.*, 2006). Nessa pesquisa, a causa das variações na emergência de plântulas foi atribuída à plasticidade entre biótipos. Em trabalhos conduzidos no Brasil, a diferença de germinação entre biótipos de capim-arroz resistente e suscetível a quinclorac foi atribuída à diferença de vigor entre os biótipos (Andres *et al.*, 2007).

Os resultados citados mostraram que, em se tratando de espécies com variações fisiológicas e morfológicas, a análise da germinação de sementes pode não ser adequada para diagnosticar a resistência a herbicidas. Outro fator que pode estar relacionado é o tamanho das sementes. Sementes maiores podem facilitar a uniformidade de germinação e, conseqüentemente, a melhor discriminação da resistência, como observado em trigo e cevada (Escorial *et al.*, 2001). Por outro lado, no presente trabalho, no bioensaio de plântulas e perfilhos essa variabilidade entre os indivíduos avaliados foi reduzida pela padronização realizada anteriormente à instalação.

Os bioensaios de plântulas e de perfilhos foram eficazes para discriminar a resistência de capim-arroz a imazethapyr e a imazapyr + imazapic, quando avaliados sete dias após a incubação em diferentes concentrações dos herbicidas. No bioensaio de plântulas, o fator de resistência entre os biótipos resistente e suscetível variou entre 255

para o controle visual e de 1.288 para a variação do crescimento relativo para o herbicida imazethapyr (Figuras 9C e 10A; Tabelas 6 e 7). Para o herbicida imazapyr + imazapic o fator de resistência foi de 1.480 e 5.585, quando analisadas as mesmas variáveis (Figuras 9D e 10B; Tabelas 6 e 7) no bioensaio de plântulas. No bioensaio de perfilhos, o fator de resistência entre os biótipos resistente e suscetível foi de 47 e 89 para os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic, respectivamente (Figura 13; Tabela 8).

Em outros trabalhos, avaliando plântulas e plantas, também se obteve sucesso na discriminação da resistência (Kim *et al.*, 2000; Burke *et al.*, 2006; Kaundun *et al.*, 2011). Em *E. colona*, por exemplo, a resistência a fenoxaprop-P-ethyl e a propanil foi identificada em sete dias através de métodos rápidos de análise de crescimento de raízes após o corte em plântulas ou através de segmentos do caule de 8 cm em plantas em praticamente todos os estádios de desenvolvimento, desde plântulas até planta adulta (Kim *et al.*, 2000). Em trabalhos com *Lolium* spp., a resistência a herbicidas inibidores de ACCase com experimentos com plântulas cultivadas em agar contendo herbicida pôde ser identificada em 10 dias após o tratamento, quando comparado com o padrão suscetível (Kaundun *et al.*, 2011). Ainda, a identificação da resistência de *Sorghum halepense* (L.) Pers. aos herbicidas clethodim e fluazifop-P-butyl em bioensaios de plântulas em agar contendo solução herbicida pôde ser realizada aos cinco dias após a incubação (Burke *et al.*, 2006).

A identificação da resistência de biótipos de capim-arroz pode ser realizada de forma rápida a campo nos estádios de plântulas e perfilhos, tanto para o herbicida imazethapyr como para a mistura de imazapyr + imazapic. As concentrações que melhor discriminaram a resistência foram de 0,001 e 0,0001 mM para esses herbicidas nos bioensaios de plântula e de perfilhos, respectivamente. Desta forma, propomos que

a rápida discriminação da resistência a campo seja feita a partir da diluição da calda de aplicação. Assim, as concentrações recomendadas de 106 g ha⁻¹ de imazethapyr e de 73,5 + 24,5 g ha⁻¹ de imazapyr + imazapic em um volume de calda de aplicação de 100 L ha⁻¹ equivalem a 3,66 mM e a 2,81 mM, respectivamente. Dessa forma, é possível fazer uma relação entre a concentração que melhor distingue os biótipos resistente e suscetível de capim-arroz e a diluição da calda de aplicação mais frequentemente utilizada no Sul do Brasil.

A concentração discriminante de 0,001 mM no bioensaio de plântulas pode ser obtida diluindo a calda de aplicação na proporção de 1/3668 e de 1/2816 para os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic, respectivamente. No bioensaio de perfilhos, a concentração discriminante de 0,0001 mM também pode ser obtida com a diluição da calda de aplicação na proporção de 1/36678 e de 1/28161, para os herbicidas imazethapyr e imazapyr + imazapic, respectivamente. Essa relação pode facilitar a obtenção da concentração desejada de forma mais rápida por técnicos e produtores. Neste caso, a utilização deste procedimento para identificação da resistência aos herbicidas imidazolinonas em capim-arroz deve ser realizada idealmente pela utilização de plântulas e afilhos de biótipos resistentes e suscetíveis crescendo paralelamente em água, como padrão de comparação com as plantas em avaliação.

Os resultados encontrados no presente trabalho mostram eficiência no diagnóstico de resistência de capim-arroz a imidazolinonas por avaliações simples e possíveis de serem realizadas a campo. Estas avaliações podem trazer benefícios no momento da tomada de decisão da escolha do herbicida a ser utilizado para controle de capim-arroz. Além disso, a identificação do mecanismo que confere resistência a esses biótipos é necessária para se planejar, de modo mais eficiente, o manejo de plantas daninhas em uma área agrícola.

5.2 Efeito de inibidores de metabolização em capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS

Outra hipótese deste trabalho era que o processo de metabolização é o mecanismo que confere resistência em biótipos de capim-arroz aos herbicidas imidazolinonas e a quinclorac. Com esse intuito, foram desenvolvidos três experimentos em diferentes ambientes com uso de inibidores de metabolização para avaliar a eficácia de controle de distintos biótipos de capim-arroz por diferentes herbicidas. Desta forma, será discutido o efeito do uso de inibidores de metabolização na eficácia de imazethapyr, quinclorac e de clomazone, separadamente.

5.2.1 Imazethapyr

5.2.1.1 Resistência a imazethapyr em capim-arroz

A resistência dos biótipos analisados foi comparada com o padrão suscetível SUSSP01 no experimento por aspersão foliar, no ensaio em ambiente hidropônico e, comparativamente com outros herbicidas, no experimento a campo. No primeiro, os fatores de resistência variaram entre 3 e 22, confirmando a resistência em cinco dos seis biótipos analisados (Figuras 16 e 17; Tabela 9). No segundo, os fatores de resistência variaram entre 7 e 46, confirmando a resistência de todos os biótipos analisados (Figuras 29 e 30; Tabelas 20 e 21). A variabilidade entre os fatores de resistência foi decorrente da época de avaliação após aplicação dos tratamentos, do modo de condução dos experimentos e das concentrações utilizadas.

O FR do experimento por aspersão foliar, embora significativo em algumas avaliações, não refletiu a diferença entre a dose necessária para controlar 50% ou para reduzir 50% da massa seca dos biótipos resistente e suscetível. Isso é consequência do baixo controle ocasionado pela maior dose testada, de 800 g ha⁻¹, nos biótipos

resistentes. Essa dose não controlou 100% desses biótipos e, por consequência, prejudicou a comparação. O parâmetro C_{50} , que foi utilizado para análise comparativa entre biótipos, é a dose eficaz que resulta em 50% da resposta da variável analisada (Ritz, 2010). A maior dose utilizada proporcionou baixo controle do biótipo resistente, que variou entre 43 e 65% aproximadamente (Figuras 16 e 17; Tabela 9). Desta forma, o parâmetro e não representou a dose que proporcionou o mesmo efeito no controle entre os biótipos resistente e suscetível. No experimento em hidroponia, a análise comparativa entre biótipos foi eficiente na comparação entre os mesmos, pois levou em consideração o parâmetro C_{50} , que representa o controle de 50% ou a redução da mesma porcentagem entre os biótipos resistente e suscetível. Nessa avaliação, ambos os biótipos variaram de zero até 100% de controle. Essa comparação entre biótipos no experimento por aspersão foliar pode ser a causa da ausência de confirmação da resistência no biótipo RIOGR01.

5.2.1.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de imazethapyr

Uma das hipóteses do presente trabalho é que a maior expressão de enzimas do cyt P450s pode estar relacionada à resistência aos herbicidas imidazolinonas em capim-arroz. Além disso, a evolução de famílias de enzimas detoxificantes pode variar entre biótipos. Essa variação acarretaria diferentes respostas à aplicação prévia dos inibidores de metabolização.

A aplicação prévia de inibidores de metabolização evidenciou o processo metabólico em alguns biótipos avaliados, conforme os resultados obtidos em dois biótipos no experimento por aspersão foliar e em três no experimento em solução hidropônica. No primeiro, o fator de resistência dos biótipos PALMS01 e CAMAQ01 foi reduzido em 18 e 20%, respectivamente, com aplicação prévia de malathion

(Figura 18B,D; Tabela 10). No segundo, o fator de resistência dos biótipos PALMS01, ARRGR01 e CACHS50 foi reduzido após a aplicação prévia de malathion, PBO ou ABT em 40, 30 e 17%, respectivamente (Figura 33B,D,E; Tabela 24). Malathion e PBO também proporcionaram maior eficácia de controle do biótipo PALMS01 no experimento a campo (Tabela 29).

A resistência por metabolização de herbicidas foi evidenciada em outros estudos, nos quais o envolvimento das enzimas cyt P450s ou da GST foi identificado mediante o uso de inibidores de metabolização. Em *L. rigidum*, a aplicação de amitrole aumentou significativamente o controle de diclofop e reduziu o fator de resistência a esse herbicida (Yu *et al.*, 2009). No mesmo trabalho, o fator de resistência do mesmo biótipo a chlorsulfuron foi reduzido de 4 para 1,47 com aplicação de malathion. O procedimento experimental para diagnóstico do envolvimento do cyt P450s na resistência a esses herbicidas foi realizado por curvas dose-resposta com os inibidores aplicados previamente ao tratamento herbicida, similares ao realizado no presente estudo. Esses resultados demonstraram o envolvimento do cyt P450s na resistência a esses herbicidas. Em trabalhos com *E. phyllopogon* resistente, a associação de bispyribac-sodium (Fischer *et al.*, 2000b) e bensulfuron-methyl (Osuna *et al.*, 2002) com malathion ou PBO reduziu o fator de resistência a esses herbicidas. No caso da resistência a bensulfuron-methyl por exemplo, o FR entre os biótipos resistente e suscetível foi reduzido de 25,5 para 6,8 ou 7,3 quando malathion ou PBO foram aspergidos previamente a este herbicida, respectivamente. Isso demonstrou que a atividade de enzimas do cyt P450s está relacionada à resistência a esses inibidores de ALS. No mesmo trabalho com bensulfuron-methyl, a atividade da enzima ALS do biótipo resistente não foi maior que a do biótipo suscetível, confirmando que a alteração no local de ação não é o mecanismo de resistência a esses herbicidas. Em trabalhos

similares, também com *E. phyllopogon*, o tratamento prévio com malathion aumentou a toxicidade de penoxsulam e, por consequência, reduziu o fator de resistência (Yasuor *et al.*, 2009). Essa redução relacionou a resistência ao inibidor de ALS ao envolvimento de cyt P450s no metabolismo do herbicida. Ainda, a maior atividade do cyt P450s em biótipos de capim-arroz resistente do que em suscetíveis foi apontada como causa da resistência a bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl ou thiobencarb (Yun *et al.*, 2005).

Os compostos malathion, ABT ou PBO inibem parcialmente as enzimas citocromo P450s (Letouzé & Gasquez, 2001). Além dessas enzimas, a GST também tem importância na tolerância ou resistência de plantas daninhas ou culturas aos herbicidas de diferentes grupos químicos (Yuan *et al.*, 2007). Portanto, semelhantemente ao obtido em outros trabalhos, a resistência a imazethapyr de alguns biótipos de capim-arroz avaliados neste trabalho pode estar relacionada à estas famílias enzimáticas. Os sistemas enzimáticos cyt P450s e GST correspondem às fases I e II de detoxificação de xenobióticos, respectivamente (Yuan *et al.*, 2007). Na fase I, que representa a ação do cyt P450s, ocorre alteração na estrutura dos herbicidas, normalmente por hidroxilação ou desalquilação (Schuler & Werck-Reichhart, 2003; Powles & Yu, 2010). Na fase II, que corresponde ao efeito do grupo enzimático das GSTs, ocorre a conjugação de glutathione ou homoglutathione (em leguminosas), sendo que, para vários substratos ocorre formação de um produto polar S-glutathione (Yuan *et al.*, 2007). Esses grupos enzimáticos detoxificam herbicidas e estão entre os mais importantes mecanismos de resistência, principalmente em gramíneas (Powles & Yu, 2010).

Os resultados encontrados no presente trabalho evidenciaram o envolvimento do cyt P450s na resistência dos biótipos PALMS01, CAMAQ01, ARRGR01 e CACHS50. No entanto, não foi possível observar esse processo metabólico associado a resistência

dos biótipos resistentes PALMS02, RIOGR01, BAGE001 e MOSTS51. Desta forma, uma das hipóteses dessa diferença de resposta entre biótipos são variações de grupos enzimáticos que conferem resistência a imidazolinonas. Essa variação pode explicar a eficácia de inibição dessas enzimas com capacidade metabólica por um inibidor específico na detoxificação de herbicidas e não por outros. Exemplo dessa variação entre eficácia de inibição de enzimas responsáveis pela detoxificação ocorreu com *Alopercurus myosuroides* Huds. resistente a inibidores de ACCase (Letouze & Gasquez, 2001). A identificação do envolvimento do cyt P450s na resistência dessa planta daninha a flupyrulfuron só foi possível com a aplicação de malathion, o que não aconteceu com o uso de ABT, PBO ou tridiphane. Outros mecanismos de resistência também podem ocorrer nos biótipos PALMS02, RIOGR01, BAGE001 e MOSTS51, que não apresentaram interação da ação herbicida e os inibidores de metabolismo. Além disso, também existe a possibilidade de ocorrência de outros mecanismos de ação em adição à metabolização nos biótipos PALMS01, CAMAQ01, ARRGR01 e CACHS50, que não foram avaliados neste estudo.

5.2.2 Quinlorac

5.2.2.1 Eficiência de quinlorac em capim-arroz

A eficácia de controle dos diferentes biótipos em comparação com o padrão suscetível pode ser evidenciada nos experimentos em casa de vegetação por aspersão foliar e em ambiente hidropônico. No experimento com aspersão foliar, a resistência ao herbicida quinlorac do biótipo ARROGR01 foi confirmada com FR de 2,59, diferindo dos demais avaliados (Figuras 19 e 20; Tabela 11). Os demais biótipos não diferiram do suscetível SUSSP01. No experimento em solução hidropônica, a resistência dos biótipos ARRGR01 e MOSTS51 foi confirmada em relação ao biótipo suscetível. Os

fatores de resistência variaram de 266 a 525 e de 262 a 290 para os biótipos ARRGR01 e MOSTS51, respectivamente (Figuras 35 e 36; Tabela 26). Esse FR foi mais de 100 vezes superior ao obtido no experimento por aspersão foliar para o biótipo ARRGR01. Além desses, no mesmo experimento foi observado baixo nível de resistência de outros biótipos previamente classificados como suscetíveis a quinclorac. Os biótipos CAMAQ01 e CACHS50 foram, aproximadamente, 2,1 e 3,3 vezes mais resistentes do que o biótipo suscetível SUSSP01.

A elevada variação entre os FR do mesmo biótipo ARRGR01 entre os experimentos é decorrente da metodologia experimental, das doses avaliadas em cada experimento e os respectivos efeitos. No experimento em hidroponia, a variação de resposta foi de zero até 100% de controle para biótipos resistentes e suscetíveis. No experimento realizado com aspersão foliar, o efeito da resposta ocasionada pelas doses avaliadas variou de zero até 33%, aproximadamente para o biótipo resistente, e de zero a 100% para os suscetíveis. A consequência desta variação entre efeitos resultou em parâmetros C_{50} diferentes entre os biótipos, visto que este representa a metade da resposta entre os valores inferior e superior (Ritz & Streibig, 2005).

Outros trabalhos conduzidos com capim-arroz resistente a quinclorac utilizaram doses crescentes de até 12.000 g ha⁻¹, que representa 32 vezes a dose recomendada na aplicação a campo e observaram que os valores de GR₅₀ não se encontraram dentro da faixa avaliada em metade dos biótipos analisados (Andres *et al.*, 2007). Trabalhos similares com biótipos resistentes e suscetíveis a quinclorac não alcançaram a dose necessária para reduzir 50% da massa seca ou da altura de plantas do biótipo resistente (Concenço *et al.*, 2008; Concenço *et al.*, 2009). Trabalhos realizados com biótipos de capim-arroz resistente coletados no Sul da Espanha obtiveram FR entre 6 e 26 para o herbicida quinclorac (Lopez-Martinez *et al.*, 1997). Biótipos resistentes de *E. phyllogon*

originários da Califórnia foram de 6 a 17 vezes mais resistentes do que o suscetível (Yasuor *et al.*, 2012). No Brasil, baixo, moderado e alto níveis de resistência de capim-arroz a quinclorac foram confirmados em trabalhos anteriores (Andres *et al.*, 2007; Concenço *et al.*, 2008). Os autores associaram a variabilidade da resistência a práticas de manejo e a pressão de seleção pelo uso de quinclorac. Esses índices de resistência dos biótipos de capim-arroz originários de regiões produtoras de arroz do Sul do Brasil superiores ao demais de outras regiões do mundo indicam possível diferença entre os mecanismos de resistência. Esse fato aumenta a necessidade de identificação mais precisa do mecanismo de resistência a quinclorac em capim-arroz.

5.2.2.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de quinclorac

Outra hipótese deste trabalho é que a atividade metabólica está relacionada com a resistência de capim-arroz a quinclorac. Além disso, esse mecanismo de resistência pode favorecer a evolução de resistência a herbicidas de diferentes mecanismos de ação. A eficácia de quinclorac aplicado posteriormente a inibidores de metabolização foi avaliada nos três experimentos. Nos experimentos por aspersão foliar e a campo, a aplicação prévia de inibidores de metabolização não influenciou a eficácia de quinclorac em nenhum dos biótipos avaliados. No experimento em ambiente hidropônico, os biótipos CAMAQ01 e CACHS50, previamente classificados como resistentes somente a imazethapyr, apresentaram baixos níveis de resistência a quinclorac. Nesses casos, o fator de resistência foi reduzido em 120 e 62% com aplicação prévia dos inibidores de metabolização para os biótipos CAMAQ01 e CACHS50, respectivamente (Figura 37C,E; Tabela 27). Esses resultados indicam envolvimento do cyt P450s na resistência a quinclorac em estágios iniciais de desenvolvimento. No entanto, em

biótipos com alto fator de resistência como os ARRGR01 e MOSTS51, a aplicação prévia dos inibidores de metabolismo não proporcionou o mesmo efeito.

Quando o FR foi elevado, a inibição de enzimas específicas com uso de ABT, PBO ou malathion, nas concentrações testadas, não foi suficiente para reduzir o fator de resistência. Ainda, há a possibilidade de ocorrência de outro mecanismo de resistência nos biótipos ARRGR01 e MOSTS51, associado ou não à metabolização, não avaliado neste trabalho. Outros mecanismos de resistência a quinclorac em gramíneas foram identificados. Em *Digitaria ischaemum* Schreb. a resistência a quinclorac foi atribuída ao maior estímulo de síntese de ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) e aos menores níveis de produção de cianeto (Abdallah *et al.*, 2006). Nesse estudo, nos biótipos resistentes a atividade da β -cianoalanina era quatro vezes maior do que no suscetível, sugerindo maior capacidade de detoxificação do cianeto. A resistência ou a variação de tolerância de gramíneas a quinclorac já havia sido atribuída à atividade de síntese da ACC e, por consequência, à produção de cianeto (Grossmann & Kwiatkowski, 2000).

Outros estudos atribuem a diferença na seletividade de quinclorac entre arroz e *Echinochloa* spp. à capacidade antioxidante (Sunohara & Matsumoto, 2004), o que de certa forma pode estar relacionada à resistência de capim-arroz. Em trabalhos recentes, a resistência de *E. phyllopogon* a quinclorac foi atribuída a uma alteração na recepção de sinais, causando menor estímulo da atividade de síntese de ACC e a maior atividade da β -cianoalanina sintase, que se reflete em maior detoxificação de cianeto (Yasuor *et al.*, 2012). No entanto, o biótipo avaliado neste trabalho é oriundo da mesma região onde se identificou o processo de metabolização como mecanismo de resistência de *E. phyllopogon* a penoxsulam, bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl, thiobencarb e clomazone (Fischer *et al.*, 2000b; Yun *et al.*, 2005; Yasuor *et al.*, 2009; Yasuor *et al.*,

2010). Aliado a isso, a associação de quinclorac com malathion reduziu o FR de 16,9 para 3,4. Esses resultados podem indicar que a metabolização de herbicidas pode ser outro mecanismo que confere resistência.

5.2.3 Clomazone

5.2.3.1 Eficiência de clomazone em capim-arroz

Uma das hipóteses do presente trabalho era que a maior atividade metabólica de biótipos resistentes a imidazolinonas ou quinclorac, além de aumentar a detoxificação desses herbicidas, promoveria variações na ativação de clomazone. A maior ativação de clomazone, por exemplo, aumentaria a suscetibilidade a esse herbicida em biótipos resistentes a herbicidas de outros mecanismos de ação. A comparação entre biótipos evidenciou diferença significativa na suscetibilidade em relação ao padrão comparativo SUSSP01 no experimento por aspersão foliar em casa de vegetação. Os biótipos ARRGR01, PALMS02 e RIOGR01, ambos resistentes a imidazolinonas, foram 1,56 e 2,5 vezes mais suscetíveis a clomazone do que o padrão comparativo SUSSP01 (Figura 22; Tabela 13).

Entre os três biótipos que apresentaram variação na resposta a clomazone em relação ao SUSSP01, o processo de detoxificação só foi evidenciado no biótipo ARRGR01 pela redução do FR no experimento em ambiente hidropônico, o que não aconteceu com os biótipos PALMS02 e RIOGR01 em nenhum dos experimentos (Figuras 18, 32 e 33; Tabelas 10, 23 e 24). No entanto, a dificuldade de diagnóstico da ocorrência do processo metabólico e os inúmeros casos descritos de resistência a outros herbicidas por metabolização não descartam a possibilidade desse processo estar relacionado ao efeito observado nos demais biótipos. O aumento da capacidade metabólica, que favorece a detoxificação de imazethapyr ou de outros herbicidas, pode

também aumentar a ativação de clomazone para 5-keto clomazone, composto de ação herbicida (Ferhatoglu & Barrett, 2006). Esse aumento da expressão de enzimas detoxificantes aumenta a capacidade de ativar o clomazone. Esse processo pode estar relacionado à maior eficácia desse herbicida nos três biótipos.

A diferença na suscetibilidade a clomazone pode ser relacionada à variabilidade natural entre biótipos evidenciada em alguns trabalhos com diferentes subespécies de *Echinochloa* (Pizarro, 1999; Martinkova, *et al.*, 2006; Bagavathiannan *et al.*, 2011) ou estar relacionada ao mecanismo de resistência a imidazolinonas e a quinclorac. Essa hipótese aumenta a relevância quando se constata diferença significativa também ao MOSTS01, outro biótipo suscetível aos herbicidas inibidores de ALS avaliado no mesmo experimento. Esse biótipo, assim como o SUSSP01, também é menos tolerante a clomazone que os citados anteriormente. No entanto, as comparações com os biótipos suscetíveis e os valores controle em relação às doses utilizadas de clomazone indicam a não ocorrência de resistência a este herbicida em capim-arroz nos biótipos avaliados. Porém, em outros países, como nos EUA, a resistência de capim-arroz a clomazone já foi relatada, com FR próximo a 2,0. (Yasuor *et al.*, 2008).

5.2.3.2 Efeito de inibidores do cyt P450s na eficácia de clomazone

Outra hipótese do presente trabalho era que a aplicação de inibidores de metabolização reduz a ativação de clomazone e, por consequência, reduz seu efeito herbicida. A eficácia de clomazone foi reduzida com a aplicação prévia de PBO e malathion no experimento a campo (Tabelas 31 e 32). A injúria da cultura do arroz e o controle de capim-arroz foram menores quando o tratamento com clomazone foi precedido com os inibidores de cyt P450s.

Trabalhos da literatura demonstraram que a eficácia de clomazone foi reduzida quando associado com inibidores de metabolização (York *et al.*, 1991; York & Jordan, 1992; Culpepper *et al.*, 2001; Ferhatoglu *et al.*, 2005). Na cultura do algodão, por exemplo, a aplicação de disulfoton e phorate no sulco de semeadura reduziu a intoxicação por clomazone e o decréscimo da massa seca de raiz e parte aérea, em relação ao tratamento somente com o herbicida (Culpepper *et al.*, 2001). Outros trabalhos com a mesma cultura já haviam identificado menor injúria de plantas de algodão causada por clomazone em associação com phorate quando comparada à aplicação isolada do herbicida (York *et al.*, 1991; York & Jordan, 1992). Da mesma forma, resultados semelhantes confirmaram que phorate reduz a eficácia de clomazone em algodão (Ferhatoglu *et al.*, 2005). Nessas pesquisas, a aplicação do inibidor aumentou a quantidade de clomazone na parte aérea de algodão e reduziu a de 5-keto clomazone em comparação ao tratamento somente com clomazone. Ainda, outros compostos como ABT, PBO, malathion e tetcyclasis foram evidenciados com ação na redução da metabolização do clomazone. Em lavouras de arroz irrigado, o inibidor de metabolização dietholate é utilizado em tratamentos de sementes para reduzir a intoxicação do arroz pela menor ativação do clomazone ao seu composto de ação herbicida 5-keto clomazone, tolerando assim maiores doses do herbicida (Sanhotene *et al.*, 2010a;b).

A menor eficácia de clomazone após a aplicação prévia de inibidores de cytochrome P450s em relação à aplicação somente do herbicida ocorre pela menor degradação do clomazone em 5-keto clomazone. Esse metabólito, diferente do clomazone, foi identificado como o composto que possui ação herbicida (Ferhatoglu & Barrett, 2006). Pesquisas recentes identificaram em biótipos de *E. phyllopogon* resistentes a clomazone maior capacidade metabólica como o mecanismo de resistência, mediante testes em

cromatografia (Yasuor *et al.*, 2010). Neste trabalho, as plantas resistentes acumularam de seis a 12 vezes mais mono-hidroxilados, composto sem ação herbicida, que plantas suscetíveis, enquanto as suscetíveis acumularam 2,5 vezes mais 5-keto clomazone do que as resistentes. Os autores atribuíram a resistência a clomazone à maior capacidade de hidroxilação do herbicida de plantas resistentes.

5.3 Eficiência de herbicidas isolados e em associação para controle de capim-arroz resistente aos herbicidas inibidores de ALS em condições de campo

Após os trabalhos voltados à identificação do mecanismo que confere resistência a herbicidas imidazolinonas de diferentes biótipos presentes em lavouras de arroz irrigado do Sul do Brasil, esse trabalho propôs avaliar a eficácia de herbicidas de diferentes grupos químicos e suas interações para buscar as melhores alternativas de manejo de capim-arroz resistente. Para isso, foram testados a campo diferentes tratamentos para controle de capim-arroz. Também foram avaliados os principais indicadores da competição interespecífica que podem estar relacionados à manutenção do potencial produtivo da cultura.

5.3.1 Intoxicação da cultura

Hipotetizou-se que os herbicidas avaliados para controle de capim-arroz apresentassem variações de seletividade à cultura do arroz irrigado. Os tratamentos com clomazone em pré e pós-emergência, bispyribac-Na, profoxydim causaram as maiores intoxicações na cultura (Tabela 33). Fenoxaprop-P-ethyl causou fitointoxicação intermediária em relação a esses e os demais tratamentos.

Resultados similares de fitointoxicação ocasionada pelos herbicidas bispyribac-sodium, profoxydim, fenoxaprop-P-ethyl e clomazone foram observados em outros trabalhos (Braverman & Jordan, 1996; Zhang & Webster, 2002; Zhang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2005b; Buehring *et al.*, 2006b; Bond *et al.*, 2007). Pesquisas avaliando a eficácia de inibidores de ACCase no controle de gramíneas na cultura do arroz também observaram injúrias no arroz causada por profoxydim e fenoxaprop-P-ethyl e praticamente nenhuma intoxicação após aplicação de cyhalofop-butyl (Buehring *et al.*, 2006b). Em outros estudos, se observou injúrias em raízes e parte aérea de arroz após o tratamento com bispyribac-sodium (Braverman & Jordan, 1996; Zhang & Webster, 2002; Bond *et al.*, 2007), podendo reduzir a população de plantas e até o rendimento de grãos, dependendo da variedade e da dose utilizada do herbicida (Zhang *et al.*, 2005b). Ainda, em estudos realizados nos EUA, o herbicida clomazone reduziu a estatura e o estande de plantas de arroz e o rendimento de grãos de arroz, com resultados variáveis entre variedades (Zhang *et al.*, 2004). Outros trabalhos observaram danos em plantas de arroz por clomazone, dentre eles branqueamento, atraso de desenvolvimento ou redução da produtividade (Jordan *et al.*, 1998; Webster *et al.*, 1999; Bollich *et al.*, 2000; O'barr *et al.*, 2007). Esses resultados demonstram que pode haver redução no rendimento de grãos e prejuízos no desenvolvimento da cultura, dependendo da intensidade e da duração da intoxicação. No presente trabalho, a análise de correlação mostrou que a fitointoxicação aos 11 DAT_{pós} ou aos 39 DAT_{pré} foi um dos fatores mais relevantes para o rendimento de grãos, com relação inversa entre fitointoxicação e rendimento de grãos (Tabela 41).

5.3.2 Eficácia no controle de capim-arroz

O controle de capim-arroz foi superior nos tratamentos com clomazone, profoxydim, fenoxaprop-P-ethyl, propanil, quinclorac e penoxsulam em relação aos demais produtos avaliados (Tabelas 35 e 36). Pendimethalin e thiobencarb proporcionaram controle satisfatório nas primeiras avaliações, porém a eficácia de controle decresceu nas avaliações seguintes. Resultados similares já haviam observado eficácia de pendimethalin nas primeiras avaliações e decréscimo de controle de capim-arroz nas avaliações subsequentes (Malik *et al.*, 2010).

Os herbicidas inibidores de ALS, bispyribac-sodium, imazethapyr, imazethapyr + imazapic e imazapyr + imazapic, proporcionaram controle inferior aos demais tratamentos. Esses resultados, juntamente com outros apresentados, confirmam a resistência a herbicidas inibidores de ALS do biótipo PALMS01 presente na área experimental. A exceção foi o herbicida penoxsulam que, diferentemente dos demais inibidores de ALS, foi eficaz no controle desse biótipo de capim-arroz. Resultados similares de suscetibilidade a um princípio ativo e resistência a outros do mesmo mecanismo de ação já foram relatados em outros estudos. Trabalhos com *Cyperus difformis* L. demonstraram que um biótipo é resistente a bensulfuron-methyl, orthosulfamuron, imazethapyr, propoxycarbazone-sodium e bispyribac-sodium e suscetível a penoxsulam e halosulfuron-methyl (Merotto *et al.*, 2009). Neste trabalho, doze diferentes variações na resistência cruzada aos cinco grupos químicos de inibidores de ALS foram observadas em biótipos de *C. difformis* (Merotto *et al.*, 2010). Além desses, outros trabalhos identificaram diferentes padrões de resistência cruzada de inibidores de ALS (Kuk *et al.*, 2004; Roux *et al.*, 2005; Busi *et al.*, 2006; Tanaka *et al.*, 2006).

A variação de resposta entre herbicidas com o mesmo mecanismo de ação pode estar relacionada ao mecanismo de resistência. A resistência do biótipo PALMS01 presente na área experimental foi avaliada em três condições experimentais, em casa de vegetação por aspersão foliar, em ambiente hidropônico e a campo. Em todos os casos, foi observado o envolvimento do cyt P450s na resistência a imazethapyr como discutido anteriormente. Desta forma, a suscetibilidade do biótipo em questão ao herbicida penoxsulam pode ser relacionada à sua detoxificação, que pode ser diferente da dos demais herbicidas. No entanto, novos trabalhos são necessários para entender essa variação de resposta à eficácia dos inibidores de ALS. A mistura entre herbicidas pode ser uma alternativa para alcançar controles satisfatórios de capim-arroz resistente a herbicidas e para prevenir a ocorrência deste problema. No entanto, em alguns casos, essas misturas podem causar antagonismo e ter sua eficácia prejudicada pela interação entre os produtos.

5.3.3 Efeito da associação entre herbicidas no controle de capim-arroz

A associação entre herbicidas de diferentes grupos químicos é uma alternativa para controle de capim-arroz resistente a imidazolinonas. Essa associação, principalmente com herbicidas desse grupo químico, aumenta a importância em relação à simples mudança do mecanismo de ação quando se considera a ocorrência de outras espécies daninhas, especialmente de arroz-vermelho. No entanto, uma hipótese do presente trabalho é misturas de herbicidas podem proporcionar variações nas respostas de controle de capim-arroz em comparação com o efeito dos produtos isolados. Misturas de fenoxaprop-P-ethyl com imazethapyr + imazapic, imazapyr + imazapic, penoxsulam e bispyribac-sodium causaram antagonismo (Tabelas 37 e 38).

Antagonismo resultante de misturas de herbicidas inibidores de ALS com herbicidas inibidores de ACCase foram relatadas em outros trabalhos (Zhang *et al.*, 2005a; Blouin *et al.*, 2010). Fenoxaprop em associação com imazethapyr, penoxsulam, halosulfuron-methyl, bensulfuron e bispyribac-sodium para controle de capim-arroz, ou com imazethapyr, penoxsulam e bispyribac-sodium para controle de *Urochloa platyphylla* (Nash), causaram redução de controle (Blouin *et al.*, 2010). Esse efeito antagônico também foi observado no controle de capim-arroz ocasionado por misturas de fenoxaprop-P-ethyl com halosulfuron-methyl ou bensulfuron (Zhang *et al.*, 2005a).

A redução da eficácia do controle pela interação entre inibidores de ALS com inibidores de ACCase foi relacionada à redução de absorção (Barnwell & Cobb, 1994) ou, na maioria dos casos, à redução de translocação do graminicida (Croon *et al.*, 1989; Ferreira *et al.*, 1995; Barnes & Oliver, 2004). A associação com DPX-PE 350, um inibidor de ALS, diminuiu a translocação de fluazifop em *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (Ferreira *et al.*, 1995). Resultados similares foram observados na translocação de fluazifop em associação com cloransulam em *U. platyphylla* (Barnes & Oliver, 2004). Nesse trabalho, a mistura reduziu 40% da translocação de fluazifop em comparação com a aplicação somente de inibidor de ACCase. Além desses, trabalhos anteriores já haviam observado reduções na translocação do graminicida ocasionada pela mistura com inibidores de ALS (Croon *et al.*, 1989).

Outra interação antagônica foi observada no presente trabalho na mistura de quinclorac com profoxydim (Tabelas 37 e 38). Trabalhos anteriores com capim-arroz também já haviam observado antagonismo na associação de inibidores de ACCase com quinclorac (Blouin *et al.*, 2010). Porém, até agora não foram diagnosticadas as causas da interação negativa entre os herbicidas quinclorac e inibidores de ACCase.

A associação de quinclorac com imazapyr + imazapic resultou em sinergismo (Tabela 37). Esse efeito aumenta a eficácia da aplicação em relação aos herbicidas aplicados isoladamente. Resultados similares não foram relatados na literatura, o que dificulta o entendimento dos efeitos fisiológicos ou físico-químicos da interação. Esses resultados de sinergismo indicam maior eficácia no controle de capim-arroz e torna-se uma alternativa eficiente no controle de biótipos resistentes. O processo de metabolização, evidenciado no biótipo resistente a imidazolinonas que foi sinergicamente controlado por imazapyr + imazapic e quinclorac, pode estar relacionado com a causa desse sinergismo. Uma hipótese é que o grupo enzimático de detoxificação de xenobióticos utilizado pelas plantas de capim-arroz, ao metabolizar imazapyr + imazapic, reduz a capacidade de planta em metabolizar outros compostos, possibilitando assim que maior quantidade de quinclorac atue na planta sem ser degradado. O que limita essa associação é a existência de biótipos com resistência múltipla a herbicidas inibidores de ALS e a quinclorac no Sul do Brasil (Mariot *et al.*, 2010).

Os resultados indicam a existência de interações que, se não conhecidas, podem acarretar variações do controle esperado de plantas de capim-arroz e outras espécies presentes na lavoura. As consequências mais problemáticas são as interações que resultam em antagonismo. Uma das alternativas para minimizar o efeito antagônico e não prejudicar a eficácia do controle é o aumento de dose de herbicidas (Vidal *et al.*, 2003; Barnes & Oliver, 2004). Em trabalhos com *Sorghum bicolor* (L.) Moench., os autores demonstraram que doses superiores de glyphosate diminuíram o efeito antagônico da mistura com triazinas (Vidal *et al.*, 2003). Em outros trabalhos, o aumento da dose de fluazifop-P reduziu o efeito negativo da interação com cloransulam para controle de *Setaria glauca* (L.) Beauv., reduzindo assim as consequências

negativas da interação em algumas espécies avaliadas (Barnes & Oliver, 2004). No entanto, essa prática aumenta os custos de produção e pode contribuir para evolução da resistência a herbicidas por outro processo. Outros entraves relacionados aos efeitos antagônicos de misturas é a necessidade de reaplicação de herbicidas ou até mesmo redução do potencial produtivo da cultura quando essa reaplicação ocorre em estádios mais avançados de desenvolvimento e as plantas daninhas seguem competindo com a cultura por recursos do ambiente.

A problemática relacionada à interação de herbicidas aumenta quando se observa respostas variáveis entre diferentes espécies. A interação de fenoxaprop-P-ethyl com propanil, por exemplo, resultou em antagonismo no controle de *E. crus-galli* e em efeito aditivo no controle de *U. platyphylla* e *Leptochloa panicoides* (Presl.) Hitchc. (Buehring *et al.*, 2006a). Resultados similares foram observados na associação de fenoxaprop-P-ethyl com bensulfuron ou halosulfuron, onde a mistura proporcionou redução da eficácia de controle de *E. crus-galli* e não de *U. platyphylla* (Blouin *et al.*, 2010). Ainda, em situações mais controversas, outros trabalhos relataram efeito sinérgico na mistura de lactofen com glyphosate para controle de *Sida spinosa* L. e *Ipomoea lacunosa* L. e efeito antagônico no controle de *E. crus-galli* e *Sesbania exaltata* (Raf.) Rydb. (Norris *et al.*, 2001).

Essas consequências negativas podem repercutir no aumento do custo de aplicação pela necessidade do aumento de dose ou até mesmo da necessidade de reaplicação de herbicidas e redução do potencial da lavoura em situações onde o controle foi ineficiente. Misturas entre herbicidas é uma prática usual no controle de plantas daninhas resistentes na lavoura de arroz irrigado. O intuito desta prática é controlar espécies tolerantes ou resistentes a algum dos herbicidas da mistura. No

entanto, algumas das misturas realizadas para controle de plantas daninhas na lavoura de arroz resultam em antagonismo.

Embora algumas interações entre herbicidas utilizadas para controle de capim-arroz resultaram em antagonismo, inúmeras outras testadas não apresentaram redução da eficácia de controle (Tabelas 37 e 38), ou aumento de intoxicação da cultura (Tabela 33). Associações de pendimethalin com profoxydim, quinclorac, imazapyr + imazapic e com quinclorac + imazapyr + imazapic resultaram em efeito aditivo no controle de capim-arroz. Além dessas, outras associações também apresentaram interação nula, como misturas de fenoxaprop-P-ethyl com clomazone, e imazapyr + imazapic com profoxydim. Efeito sinérgico também foi observado na mistura de imazapyr + imazapic com quinclorac para controle de capim-arroz, aumentando a eficácia do controle de capim-arroz em comparação com a ação dos herbicidas aplicados isoladamente.

A aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação na mesma estação de crescimento pode ser mais eficaz para evitar a evolução da resistência em plantas daninhas do que outras práticas de manejo, como rotação entre mecanismos de ação ao longo dos anos (Diggle *et al.*, 2003). No presente trabalho, foram identificadas algumas associações de herbicidas eficazes para controlar biótipos de capim-arroz resistentes a inibidores de ALS. Essas podem contribuir significativamente para manejo de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado, como forma de prevenção da evolução de biótipos de capim-arroz resistentes.

5.4 Implicações da resistência de capim-arroz a imidazolinonas para o manejo de plantas daninhas na cultura do arroz

A evolução da resistência de capim-arroz no Sul do Brasil, inicialmente a quinclorac e, nos últimos anos, a inibidores de ALS, compromete o manejo de plantas

daninhas na cultura do arroz irrigado. O problema causado pela resistência está relacionado ao menor número de opções de herbicidas para controle de plantas daninhas e ao aumento do custo de produção.

Trabalhos realizados nas Filipinas quantificaram o impacto econômico da presença de capim-arroz resistente em U\$ 100,00 por hectare (Beltran *et al.*, 2012). Esse custo provavelmente varia em relação ao cenário do Sul do Brasil. Por exemplo, em lavouras onde estejam presentes biótipos de capim-arroz resistente a imidazolinonas e que também exista necessidade de aplicação de herbicidas imidazolinonas para controle de arroz-vermelho, a aplicação conjunta de herbicidas de dois diferentes mecanismos de ação é necessária, o que aumenta muito o custo de produção. Esse aumento do custo pode ser minimizado com a identificação precoce da presença de plantas daninhas resistentes, pois possibilita o uso do produto correto no momento ideal de controle. Essa rápida identificação pode ser realizada por métodos desenvolvidos no presente trabalho a imidazolinonas ou por métodos desenvolvidos em trabalhos anteriores a quinclorac (Concenço *et al.*, 2008).

No presente trabalho, o incremento da metabolização foi relacionado como causa da resistência de capim-arroz a herbicidas imidazolinonas em alguns biótipos avaliados. Além disso, o aumento de metabolismo foi relacionado com o baixo nível de resistência a quinclorac em alguns biótipos previamente identificados como resistentes a imidazolinonas. A maior atividade de enzimas detoxificantes normalmente resulta em resistência a múltiplos grupos de herbicidas, necessitando complexas estratégias de manejo (Siminsky, 2006).

Resistência de plantas daninhas a múltiplos herbicidas pelo processo de metabolização foi evidenciada em trabalhos anteriores (Fischer *et al.*, 2000a; Cocker *et al.*, 2001; Letouze & Gasquez, 2003). Nesses casos, a resistência a um determinado

grupo químico facilitou a evolução a outros herbicidas. Em *L. multiflorum*, por exemplo, o incremento da metabolização foi identificado como mecanismo que confere resistência aos herbicidas diclofop-methyl, fluazifop-P-butyl, tralkoxydim e resistência parcial a isoproturon (Cocker *et al.*, 2001). Casos similares de resistência múltipla aos herbicidas clodinafop-propargyl, haloxyfop-P-methyl e fenoxaprop-P-ethyl mediante o envolvimento de enzimas detoxificantes foram evidenciados em *A. myosuroides* (Letouze & Gasquez, 2003). Em *E. phyllopogon*, a resistência múltipla a molinate, thiobencarb, fenoxaprop-P-ethyl, cyhalofop-butyl, bispyribac-sodium, penoxsulam e clomazone foi relacionada à maior atividade do cyt P450s (Fischer *et al.*, 2000a; Yun *et al.*, 2005; Ruiz-Santaella *et al.*, 2006; Yasuor *et al.*, 2009; Yasuor *et al.*, 2010). Parte da resistência a esses herbicidas iniciou com baixos níveis em relação ao suscetível e, após processos contínuos de seleção, obteve-se incremento do nível e do espectro de resistência.

Doses de herbicidas abaixo do recomendado são capazes de proporcionar a evolução de biótipos resistentes ao longo dos anos quando, principalmente, a causa da resistência está relacionada ao incremento da metabolização. Inúmeros trabalhos demonstraram a rápida evolução de plantas daninhas resistentes a herbicidas com uso de subdoses pelo aumento da proporção de genes de menor efeito ao longo das gerações (Jasieniuk *et al.*, 1996; Neve & Powles, 2005a; b; Busi & Powles, 2009). O maior acúmulo de genes após cruzamentos e seleção por subdoses de um determinado herbicida é capaz de tornar este biótipos resistente a herbicidas de outros mecanismos de ação (Manalil *et al.*, 2011). Dessa forma, a evolução da resistência a herbicidas de um mecanismo de ação pode favorecer a evolução a outros grupos químicos (Powles & Yu, 2010). Isso foi evidenciado no presente trabalho, onde biótipos inicialmente resistentes a imazethapyr já demonstram pequeno fator de resistência também a

quinclorac. O uso de inibidores do cyt P450s reduziu significativamente esse fator de resistência a quinclorac, indicando relação direta da expressão de enzimas detoxificantes na habilidade dos biótipos em resistir a doses superiores que biótipos suscetíveis. Aliado a isso, em quatro biótipos avaliados no presente trabalho, o uso desses inibidores reduziu o fator de resistência a imazethapyr de 17 a 40%, evidenciando a ocorrência desse processo também na detoxificação de imidazolinonas (Tabelas 10, 23 e 24).

Em condições de campo, a aplicação de subdoses sempre foi uma prática atrativa entre produtores devido ao menor custo de produção. Embora a pressão de seleção imposta pelo uso contínuo dos herbicidas provavelmente seja a principal causa da ocorrência da resistência de capim-arroz a ALS e a quinclorac no Sul do Brasil, há relatos de uso de doses abaixo da recomendação desses herbicidas em algumas regiões produtoras de arroz irrigado do RS (Marcio Luis Delfim de Souza, comunicação pessoal). Além da subdosagem, outros fatores podem reduzir a quantidade de moléculas de herbicidas que atinjam o local de ação e são causas indiretas de subdoses. Os principais fatores relacionados a este processo são o efeito guarda-chuva, menor quantidade de adjuvante na calda de aplicação, plantas com maior estágio de desenvolvimento e sob estresses ambientais e condições ambientais que favoreçam a deriva. Estes fenômenos que resultam na aplicação de subdoses podem ter contribuição direta na evolução da resistência de biótipos de capim-arroz.

Subdoses causam evolução mais rápida de biótipos resistentes quando relacionadas a eventos de regulação poligênica (Renton *et al.*, 2011), como é o caso da metabolização de herbicidas. Trabalhos com subdoses de diclofop comprovaram o aumento de, aproximadamente, 18 vezes o fator de resistência de biótipos de *Lolium rigidum* suscetíveis em dois ciclos de seleção. (Manalil *et al.*, 2011). Nesse trabalho, a

evolução de resistência a diclofop por subdoses do herbicida em duas gerações de seleção incrementou a resistência dessas linhagens também a imazethapyr, chlorsulfuron, haloxyfop-P-methyl e fluazifop-P-butyl. A relação de resistência entre a linhagem mãe suscetível e a progênie da segunda geração foram de 1,5, 1,4, 3,8 e 2,4 para os herbicidas fluazifop-P-butyl, haloxyfop-P-methyl, chlorsulfuron e imazethapyr, respectivamente. Essa evolução, em apenas duas gerações, foi atribuída ao acúmulo de genes em uma espécie de polinização cruzada, facilitando assim a rápida seleção da resistência.

A ocorrência de resistência a herbicidas causada pelo local de ação alterado normalmente é relacionada a maiores níveis de resistência. Quando isso acontece, a ação de um gene dominante é facilmente selecionada com doses superiores pela rápida eliminação de biótipos sem a mutação específica (Mckenzie, 2000; Hermisson & Pennings, 2005). Nesse caso, a alta pressão de seleção imposta por altas doses de herbicida favorece a ocorrência deste mecanismo de resistência.

Atualmente, existem várias opções de herbicidas para controle de capim-arroz no Brasil. No entanto, o processo de metabolização evidenciado neste trabalho aumenta o problema de resistência pela capacidade da planta evoluir a resistência também a outros mecanismos de ação. Uma alternativa para contornar essa limitação é a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de detoxificação pelas plantas. A associação de produtos com diferentes processos de detoxificação por misturas de herbicidas ou de mudanças de mecanismo de ação dificultaria a seleção de genes de pequeno efeito que conferem resistência por metabolização. No entanto, o conhecimento sobre esse mecanismo de degradação de herbicidas por plantas ainda é incipiente, o que impossibilita o desenvolvimento deste procedimento para prevenção e manejo da resistência.

A prevenção da evolução da resistência pelo processo de metabolização pode ocorrer com associações sinérgicas entre herbicidas ou de herbicidas com outros compostos que inibam a metabolização. No primeiro caso, quando a ação de diferentes herbicidas torna o controle mais eficaz, a possibilidade de seleção e acúmulo de genes de pequeno efeito é reduzida consideravelmente. Outra possibilidade é a associação de herbicidas com compostos que inibem o metabolismo. Essa prática é utilizada em outros campos de pesquisa, como na medicina por exemplo. A associação de amoxicilina com ácido clavulânico é utilizada para controle de infecções causadas por bactérias há várias décadas. A amoxicilina age inibindo o crescimento bacteriano e o ácido clavulânico, por sua vez, inibe a degradação da amoxicilina pela enzima beta-lactamase. Essa associação aumenta a meia vida da amoxicilina e previne a detoxificação do bactericida (White *et al.*, 2004). No entanto, na agricultura, a associação de herbicidas com inibidores de metabolização podem aumentar a intoxicação da cultura e, em muitos casos, reduzir o rendimento de grãos. Em milho, por exemplo, a mistura de nicosulfuron com chlorpirifos reduziu aproximadamente 35% o rendimento de grãos (Silva *et al.*, 2005). Isso aconteceu porque o inseticida reduziu a capacidade metabólica da cultura e, por consequência, aumento da intoxicação por nicosulfuron.

O conhecimento atual para evitar a evolução da resistência por processo de metabolização não contempla alternativas como rotação de mecanismos de detoxificação de herbicidas ou uso de inibidores específicos de metabolização, por exemplo. O uso de herbicidas associados ou diferentes práticas de manejo da cultura ainda são as melhores alternativas para prevenir a resistência de plantas daninhas. Desta forma, é necessário conhecer os principais herbicidas alternativos para controle químico para esses biótipos resistentes e para evitar a evolução de novos biótipos e, assim,

planejar estratégias de maneira mais concreta o manejo dessa espécie com alta capacidade competitiva.

Associações de diferentes herbicidas são uma das principais ferramentas para minimizar o risco de evolução de plantas daninhas resistentes (Diggle *et al.*, 2003). Algumas dessas melhores alternativas foram avaliadas neste trabalho. No entanto, outras misturas de herbicidas podem causar antagonismo, como também evidenciado no presente trabalho e em outros da literatura (Zhang *et al.*, 2005; Blouin *et al.*, 2010). Esse antagonismo acarreta em menor quantidade de moléculas com ação herbicida no local de ação, situação similar à aplicação de subdoses.

O processo de metabolização não foi evidenciado em todos os biótipos avaliados. A relação desse processo com fatores ambientais pode ter relação direta com essa limitação. Ainda, existe a possibilidade de outros mecanismos de resistência estar presente em alguns dos biótipos de capim-arroz resistentes de lavouras do Sul do Brasil. Outra possibilidade é a ausência de especificidade dos inibidores de cyt P450s testados com a inibição das enzimas detoxificantes ou ainda, a detoxificação de herbicidas pela GST, não mensurada neste trabalho. Para responder estas questões, novos trabalhos devem ser conduzidos para facilitar a compreensão das dúvidas ainda presentes em relação aos fatores ponderados nesse estudo.

6 CONCLUSÕES

O rápido diagnóstico da resistência de capim-arroz a imidazolinonas é possível com a condução de bioensaios nos estádios de plântula e perfilhos. No entanto, nas condições experimentais testadas, não é possível discriminar a resistência de capim-arroz no estágio de sementes. As concentrações de imazethapyr e de imazapyr + imazapic que melhor diferem os biótipos resistente e suscetível são de 0,001 e 0,0001 mM nos bioensaios com plântulas e perfilhos, respectivamente. A identificação de biótipos resistentes de capim-arroz é uma informação importante, pois evita o aumento do custo de controle e, principalmente, por proporcionar a escolha do herbicida correto.

O aumento da capacidade de metabolização está relacionado com a resistência aos herbicidas imidazolinonas e com a resistência inicial a quinclorac em capim-arroz. O processo de metabolização é evidenciado em quatro biótipos avaliados neste trabalho com uso de inibidores do cyt P450s, como malathion, PBO e ABT. A caracterização da ocorrência de metabolização aumenta a problemática de manejo e controle de resistência aos herbicidas em capim-arroz, pois pode favorecer a evolução da resistência aos herbicidas de outros mecanismos de ação.

Os herbicidas clomazone, profoxydim, fenoxaprop-P-ethyl, propanil, quinclorac e penoxsulam foram eficazes para o controle do biótipo de capim-arroz avaliado em condições de campo. Os tratamentos com clomazone, bispyribac-sodium, profoxydim e fenoxaprop-P-ethyl causam as maiores intoxicação na cultura do arroz. Associações de

fenoxaprop-P-ethyl com inibidores de ALS e profoxydim com quinclorac resultaram em antagonismo e quinclorac com imazapyr + imazapic causaram sinergismo. As associações de pendimethalin com profoxydim, quinclorac, imazapyr + imazapic e com quinclorac + imazapyr + imazapic resultam em efeito aditivo no controle de capim-arroz. Além dessas, outras associações também apresentam interação aditiva, como misturas de fenoxaprop-P-ethyl com clomazone e imazapyr + imazapic com profoxydim. Essas associações sinérgicas ou aditivas são alternativas de manejo e prevenção da resistência de capim-arroz.

O incremento de metabolização está associado à resistência múltipla a herbicidas em capim-arroz. Práticas de prevenção da resistência a herbicidas em capim-arroz devem ser empregadas para evitar a distribuição da resistência e, principalmente, a ocorrência de resistência a outros herbicidas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, I. et al. Mechanism of resistance to quinclorac in smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 84, n. 1, p. 38-48, 2006.
- AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.
- AGOSTINETTO, D. et al. Interferência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 689-696, 2007.
- AKOBUNDU, I. O.; SWEET, R. D.; DUKE, W. B. Method of evaluating herbicide combinations and determining herbicide synergism. **Weed Science**, Champaign, v. 23, n. 1, p. 20-25, 1975.
- ANDERSON, M. P.; GRONWALD, J. W. Atrazine resistance in a velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) biotype due to enhanced glutathione S-transferase activity. **Plant Physiology**, Rockville, v. 96, n. 1, p. 104-109, 1991.
- ANDRES, A. et al. Detecção da resistência de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) ao herbicida quinclorac em regiões orizícolas do sul do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 221-226, 2007.
- BAGAVATHIANNAN, M. V. et al. Seedbank size and emergence pattern of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas. **Weed Science**, Champaign, v. 59, n. 3, p. 359-365, 2011.
- BAKKALI, Y. et al. Late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): Mechanisms involved in the resistance to fenoxaprop-p-ethyl. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 10, p. 4052-4058, 2007.
- BALTAZAR, A. M.; SMITH, R. J. Propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in rice. **Weed Technology**, Champaign, v. 8, n. 3, p. 576-581, 1994.
- BARNES, J. W.; OLIVER, L. R. Cloransulam antagonizes annual grass control with aryloxyphenoxypropionate graminicides but not cyclohexanediones. **Weed Technology**, Lawrence, v. 18, n. 3, p. 763-772, 2004.
- BARNWELL, P.; COBB, A. H. Graminicide antagonism by broadleaf weed herbicides. **Pesticide Science**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 77-85, 1994.

- BECKIE, H. J. et al. A rapid bioassay to detect trifluralin-resistant green foxtail (*Setaria viridis*). **Weed Technology**, Champaign, v. 4, n. 3, p. 505-508, 1990.
- BECKIE, H. J. et al. Screening for herbicide resistance in weeds. **Weed Technology**, Lawrence, v. 14, n. 2, p. 428-445, 2000.
- BELTRAN, J. C.; PANNELL, D. J.; DOOLE, G. J. Economic implications of herbicide resistance and high labour costs for management of annual barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Philippine rice farming systems. **Crop Protection**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 31-39, 2012.
- BLOUIN, D. C.; WEBSTER, E. P.; BOND, J. A. On a method of analysis for synergistic and antagonistic joint-action effects with fenoxaprop mixtures in rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, Lawrence, v. 24, n. 4, p. 583-589, 2010.
- BOLDRINI, I. L.; LONGHI-WAGNER, H. M.; BOECHAT, S. C. **Morfologia e taxonomia de Gramíneas Sul-Rio-Grandenses**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.
- BOLLICH, P. K. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to the microencapsulated formulation of clomazone. **Weed Technology**, Lawrence, v. 14, n. 1, p. 89-93, 2000.
- BOND, J. A. et al. Rice cultivar response to penoxsulam. **Weed Technology**, Lawrence, v. 21, n. 4, p. 961-965, 2007.
- BRAVERMAN, M. P.; JORDAN, D. L. Efficacy of KIH-2023 in dry- and water-seeded rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, Champaign, v. 10, n. 4, p. 876-882, 1996.
- BRAVIN, F.; ZANIN, G.; PRESTON, C. Resistance to diclofop-methyl in two *Lolium* spp. populations from Italy: studies on the mechanism of resistance. **Weed Research**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 461-473, 2001.
- BRAZIER, M.; COLE, D. J.; EDWARDS, R. O-Glucosyltransferase activities toward phenolic natural products and xenobiotics in wheat and herbicide-resistant and herbicide-susceptible black-grass (*Alopecurus myosuroides*). **Phytochemistry**, Oxford, v. 59, n. 2, p. 149-156, 2002.
- BUEHRING, N. W.; TALBERT, R. E.; BALDWIN, F. L. Interactions of graminicides with other herbicides applied to rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, n. 1, p. 215-220, 2006a.
- BUEHRING, N. W.; TALBERT, R. E.; BALDWIN, F. L. Rice (*Oryza sativa*) response and annual grass control with graminicides. **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, n. 3, p. 738-744, 2006b.
- BURGOS, N. R. et al. Red rice (*Oryza sativa*) status after 5 years of imidazolinone-resistant rice technology in Arkansas. **Weed Technology**, Lawrence, v. 22, n. 1, p. 200-208, 2008.
- BURKE, I. C. et al. A seedling assay to screen aryloxyphenoxypropionic acid and cyclohexanedione resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, n. 4, p. 950-955, 2006.

BURNET, M. W. M. et al. Increased detoxification is a mechanism of simazine resistance in *Lolium rigidum*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 46, n. 3, p. 207-218, 1993.

BUSI, R. et al. Patterns of resistance to ALS herbicides in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*) and ricefield bulrush (*Schoenoplectus mucronatus*). **Weed Technology**, Lawrence, v. 20, n. 4, p. 1004-1014, 2006.

BUSI, R.; POWLES, S. B. Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. **Heredity**, London, v. 103, n. 4, p. 318-325, 2009.

CAREY, V. F.; HOAGLAND, R. E.; TALBERT, R. E. Resistance mechanism of propanil-resistant barnyardgrass.2. In-vivo metabolism of the propanil molecule. **Pesticide Science**, Oxford, v. 49, n. 4, p. 333-338, 1997.

CAREY, V. F.; HOAGLAND, R. E.; TALBERT, R. E. Verification and distribution of propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 2, p. 366-372, 1995.

CHRISTOPHER, J. T.; PRESTON, C.; POWLES, S. B. Malathion antagonizes metabolism-based chlorsulfuron resistance in *Lolium rigidum*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 49, n. 3, p. 172-182, 1994.

COCKER, K. M. et al. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides and isoproturon in UK populations of *Lolium multiflorum*: mechanisms of resistance and implications for control. **Pest Management Science**, Malden, v. 57, n. 7, p. 587-597, 2001.

COLBY, S. R. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. **Weeds**, Columbus, v. 15, n. 1, p. 20-22, 1967.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira, 9º levantamento.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_06_05_09_50_17_boletim_safra_-_junho-2012.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2012.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 436-443, 2000.

CONCENÇO, G. et al. Effect of dose and application site on quinclorac absorption by barnyardgrass biotypes. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 541-548, 2009.

CONCENÇO, G. et al. Método rápido para detecção de resistência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) ao quinclorac. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 429-437, 2008.

CORBETT, C. A. L.; TARDIF, F. J. Detection of resistance to acetolactate synthase inhibitors in weeds with emphasis on DNA-based techniques: a review. **Pest Management Science**, Malden, v. 62, n. 7, p. 584-597, 2006.

COUPLAND, D.; LUTMAN, P. J. W.; HEATH, C. Uptake, translocation, and metabolism of mecoprop in a sensitive and a resistant biotype of *Stellaria media*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 36, n. 1, p. 61-67, 1990.

CROON, K. A.; KETCHERSID, M. L.; MERKLE, M. G. Effect of bentazon, imazaquin and chlorimuron on the absorption and translocation of the methyl-ester of haloxyfop. **Weed Science**, Champaign, v. 37, n. 5, p. 645-650, 1989.

CULPEPPER, A. S. et al. Effect of insecticides on clomazone absorption, translocation, and metabolism in cotton. **Weed Science**, Lawrence, v. 49, n. 5, p. 613-616, 2001.

CUMMINS, I.; COLE, D. J.; EDWARDS, R. A role for glutathione transferases functioning as glutathione peroxidases in resistance to multiple herbicides in black-grass. **Plant Journal**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 285-292, 1999.

DE PRADO, R.; LOPEZ-MARTINEZ, N.; GONZALEZ-GUTIERREZ, J. Identification of two mechanisms of atrazine resistance in *Setaria faberi* and *Setaria viridis* biotypes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 67, n. 2, p. 114-124, 2000.

DELYE, C. et al. Variation in the gene encoding acetolactate-synthase in *Lolium* species and proactive detection of mutant, herbicide-resistant alleles. **Weed Research**, Malden, v. 49, n. 3, p. 326-336, 2009.

DEMONTELLANO, P. R. O.; MATHEWS, J. M. Autocatalytic alkylation of the cytochrome P-450 prosthetic heme group by 1-aminobenzotriazole - isolation an NN-bridged benzene-protoporphyrin IX adduct. **Biochemical Journal**, London, v. 195, n. 3, p. 761-764, 1981.

DIGGLE, A. J.; NEVE, P. B.; SMITH, F. P. Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. **Weed Research**, Oxford, v. 43, n. 5, p. 371-382, 2003.

DIXON, D. P. et al. Glutathione-mediated detoxification systems in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 1, n. 3, p. 258-266, 1998.

EBERHARDT, D. S.; NOLDIN, J. A. Capim-arroz resistente ao herbicida Facet em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2001. p. 513-515.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Sistemas de produção**, 2005. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/arroz/cap01.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

ESCORIAL, M. C. et al. A rapid method to determine cereal plant response to glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v. 15, n. 4, p. 697-702, 2001.

FAO. **Global cereal supply and demand brief**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/011/ai473e/ai473e04.htm>>. Acesso em: 15 set. 2010.

FERHATOGLU, Y.; AVDIUSHKO, S.; BARRETT, M. The basis for the safening of clomazone by phorate insecticide in cotton and inhibitors of cytochrome P450s. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 81, n. 1, p. 59-70, 2005.

- FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006.
- FERREIRA, K. L.; BURTON, J. D.; COBLE, H. D. Physiological-basis for antagonism of fluazifop-P by DPX-PE350. **Weed Science**, Champaign, v. 43, n. 2, p. 184-191, 1995.
- FEYEREISEN, R. Insect P450 enzymes. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 44, p. 507-533, 1999.
- FISCHER, A. J. et al. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* fields. **Weed Science**, Lawrence, v. 48, n. 2, p. 225-230, 2000a.
- FISCHER, A. J. et al. Mechanisms of resistance to bispyribac-sodium in an *Echinochloa phyllopogon* accession. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 68, n. 3, p. 156-165, 2000b.
- FISCHER, A. J.; GRANADOS, E.; TRUJILLO, D. Propanil resistance in populations of junglerice (*Echinochloa colona*) in colombian rice fields. **Weed Science**, Champaign, v. 41, n. 2, p. 201-206, 1993.
- FISCHER, T. C.; KLATTIG, J. T.; GIERL, A. A general cloning strategy for divergent plant cytochrome P450 genes and its application in *Lolium rigidum* and *Ocimum basilicum*. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 103, n. 6-7, p. 1014-1021, 2001.
- FLECK, N. G. et al. Interferência de plantas concorrentes em arroz irrigado modificada por métodos culturais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 19-28, 2004.
- FRAGA, M. I.; TASENDE, M. G. Mechanisms of resistance to simazine in *Sonchus oleraceus*. **Weed Research**, Oxford, v. 43, n. 5, p. 333-340, 2003.
- GAINES, T. A. et al. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 107, n. 3, p. 1029-1034, 2010.
- GALON, L. et al. Estimativa das perdas de produtividade de grãos em cultivares de arroz (*Oryza sativa*) pela interferência do capim-arroz (*Echinochloa* spp.). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 697-707, 2007.
- GE, X. et al. Rapid vacuolar sequestration: the horseweed glyphosate resistance mechanism. **Pest Management Science**, Malden, v. 66, n. 4, p. 345-348, 2010.
- GEALY, D. R.; MITTEN, D. H.; RUTGER, J. N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): Implications for Weed Management. **Weed Technology**, Lawrence, v. 17, n. 3, p. 627-645, 2003.
- GOWING, D. P. A method of comparing herbicides and assessing herbicide mixtures at the screening level. **Weeds**, Columbus, v. 7, n. 1, p. 66-76, 1959.
- GRAUSEM, B. et al. Functional expression of *Saccharomyces cerevisiae* CYP51A1 encoding lanosterol-14-demethylase in tobacco results in bypass of endogenous sterol biosynthetic-pathway and resistance to an obtusifoliol-14-demethylase herbicide inhibitor. **Plant Journal**, Oxford, v. 7, n. 5, p. 761-770, 1995.

- GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J. The mechanism of quinclorac selectivity in grasses. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 66, n. 2, p. 83-91, 2000.
- HALL, L. M.; MOSS, S. R.; POWLES, S. B. Mechanisms of resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in two resistant biotypes of *Alopecurus myosuroides* (blackgrass): Herbicide metabolism as a cross-resistance mechanism. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 57, n. 2, p. 87-98, 1997.
- HALL, L. M.; STROMME, K. M.; HORSMAN, G. P. Resistance to acetolactate synthase inhibitors and quinclorac in a biotype of false cleavers (*Galium spurium*). **Weed Science**, Lawrence, v. 46, n. 4, p. 390-396, 1998.
- HATZIOS, K. K.; PENNER, D. Interactions of herbicides with other agrochemicals in higher plants. **Reviews of Weed Science**, Champaign, v. 1, p. 1-63, 1985.
- HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds 2012**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 19 abr. 2012.
- HERMISSON, J.; PENNING, P. S. Soft sweeps: Molecular population genetics of adaptation from standing genetic variation. **Genetics**, Baltimore, v. 169, n. 4, p. 2335-2352, 2005.
- HIDAYAT, I.; PRESTON, C. Cross-resistance to imazethapyr in a fluzifop-P-butyl-resistant population of *Digitaria sanguinalis*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 71, n. 3, p. 190-195, 2001.
- HIROSE, S. et al. Transgenic rice containing human CYP2B6 detoxifies various classes of herbicides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 9, p. 3461-3467, 2005.
- HOAGLAND, R. E. et al. Metabolically based resistance to the herbicide propanil in *Echinochloa* species. **Weed Science**, Lawrence, v. 52, n. 3, p. 475-486, 2004.
- IMAIZUMI, T. et al. Genetic diversity of sulfonylurea-resistant and -susceptible *Monochoria vaginalis* populations in Japan. **Weed Research**, Oxford, v. 48, n. 2, p. 187-196, 2008.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Séries históricas**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/1313154323PRODARRS___serie_historica.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2011.
- JAFUN, F. B.; PERRYMAN S. A. M.; MOSS S. R. The response of *Echinochloa colona* populations from Nigeria to oxadiazon, propanil and pendimethalin. **International Congress on Crop Science and Technology**, Surrey, v. 1-2, p. 807-812, 2003.
- JASIENIUK, M.; BRULEBABEL, A. L.; MORRISON, I. N. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. **Weed Science**, Lawrence, v. 44, n. 1, p. 176-193, 1996.
- JORDAN, D. L. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to clomazone. **Weed Science**, Lawrence, v. 46, n. 3, p. 374-380, 1998.

JULIANO, L. M.; CASIMERO, M. C.; LLEWELLYN, R. Multiple herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in direct-seeded rice in the Philippines. **International Journal of Pest Management**, Nueva Ecija, v. 56, n. 4, p. 299-307, 2010.

KARAVANGELI, M. et al. Development of transgenic tobacco plants overexpressing maize glutathione S-transferase I for chloroacetanilide herbicides phytoremediation. **Biomolecular Engineering**, Amsterdam, v. 22, n. 4, p. 121-128, 2005.

KASPAR, M. et al. Selection of a sunflower line with multiple herbicide tolerance that is reversed by the P450 inhibitor malathion. **Weed Science**, Lawrence, v. 59, n. 2, p. 232-237, 2011.

KAUNDUN, S. S. et al. Importance of the P106S target-site mutation in conferring resistance to glyphosate in a goosegrass (*Eleusine indica*) population from the Philippines. **Weed Science**, Lawrence, v. 56, n. 5, p. 637-646, 2008.

KAUNDUN, S. S. et al. Syngenta 'RISQ' test: a novel in-season method for detecting resistance to post-emergence ACCase and ALS inhibitor herbicides in grass weeds. **Weed Research**, Malden, v. 51, n. 3, p. 284-293, 2011.

KAWAHIGASHI, H. et al. Herbicide resistance of transgenic rice plants expressing human CYP1A1. **Biotechnology Advances**, Oxford, v. 25, n. 1, p. 75-84, 2007.

KAWAHIGASHI, H. et al. Transgenic rice plants expressing human CYP1A1 exude herbicide metabolites from their roots. **Plant Science**, Clare, v. 165, n. 2, p. 373-381, 2003.

KIM, D. S. et al. Rapid detection of propanil and fenoxaprop resistance in *Echinochloa colona*. **Weed Science**, Lawrence, v. 48, n. 6, p. 695-700, 2000.

KNEZEVIC, S. Z.; STREIBIG, J. C.; RITZ, C. Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. **Weed Technology**, Lawrence, v. 21, n. 3, p. 840-848, 2007.

KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Curvas de resposta e isoblograma como forma de descrever a associação de herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 579-587, 2006.

KUK, Y. I. et al. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Cyperus difformis* resistant to sulfonylurea herbicides in Korea. **Pest Management Science**, Sussex, v. 60, n. 1, p. 85-94, 2004.

KUK, Y. I. et al. Rapid diagnosis of resistance to sulfonylurea herbicides in monochoria (*Monochoria vaginalis*). **Weed Science**, Lawrence, v. 51, n. 3, p. 305-311, 2003.

LAPLANTE, J.; RAJCAN, I.; TARDIF, F. J. Multiple allelic forms of acetohydroxyacid synthase are responsible for herbicide resistance in *Setaria viridis*. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 119, n. 4, p. 577-585, 2009.

LEAH, J. M. et al. Effect of mono-oxygenase inhibitors on uptake, metabolism and phytotoxicity of propanil in resistant biotypes of jungle-rice, *Echinochloa colona*. **Pesticide Science**, Sussex, v. 49, n. 2, p. 141-147, 1997.

LECLERC, J. et al. Profiling gene expression of whole cytochrome P450 superfamily in human bronchial and peripheral lung tissues: Differential expression in non-small cell lung cancers. **Biochimie**, Paris, v. 92, n. 3, p. 292-306, 2010.

LETOUZE, A.; GASQUEZ, J. Enhanced activity of several herbicide-degrading enzymes: a suggested mechanism responsible for multiple resistance in blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). **Agronomie**, Les Ulis, v. 23, n. 7, p. 601-608, 2003.

LETOUZE, A.; GASQUEZ, J. Inheritance of fenoxaprop-P-ethyl resistance in a blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) population. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 103, n. 2-3, p. 288-296, 2001.

LIMPEL, L. E.; SCHULDT, P. H.; LAMONT, D. Weed control by dimethyl tetrachloroterephthalate alone and in certain combinations. **Proceedings of northeastern weed control conference**, v. 16, p. 48-53, 1962.

LOPEZ-MARTINEZ, N.; MARSHALL, G.; DEPRADO, R. Resistance of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) to atrazine and quinclorac. **Pesticide Science**, Sussex, v. 51, n. 2, p. 171-175, 1997.

LORRAINE-COLWILL, D. F. et al. Investigations into the mechanism of glyphosate resistance in *Lolium rigidum*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 74, n. 2, p. 62-72, 2002.

LOVELACE, M. L. et al. Quinclorac absorption and translocation characteristics in quinclorac- and propanil-resistant and -susceptible barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) biotypes. **Weed Technology**, Lawrence, v. 21, n. 3, p. 683-687, 2007.

MALIK, M. S.; BURGOS, N. R.; TALBERT, R. E. Confirmation and control of propanil-resistant and quinclorac-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice. **Weed Technology**, Lawrence, v. 24, n. 3, p. 226-233, 2010.

MANALIL, S. et al. Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. **Weed Science**, Lawrence, v. 59, n. 2, p. 210-217, 2011.

MANEECHOTE, C.; PRESTON, C.; POWLES, S. B. A diclofop-methyl-resistant *Avena sterilis* biotype with a herbicide-resistant acetyl-coenzyme A carboxylase and enhanced metabolism of diclofop-methyl. **Pesticide Science**, Sussex, v. 49, n. 2, p. 105-114, 1997.

MARAMBE, B.; AMARASINGHE, L. Propanil-resistant barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.] in Sri Lanka: Seedling growth under different temperatures and control. **Weed Biology and Management**, Oxford, v. 2, n. 4, p. 194-199, 2002.

MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V. G.; SOUZA, P. A. Resistência múltipla e cruzada de capim-arroz aos herbicidas na cultura de arroz no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1455-1459.

MARTINKOVA, Z.; HONEK, A.; LUKAS, J. Seed age and storage conditions influence germination of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). **Weed Science**, Lawrence, v. 54, n. 2, p. 298-304, 2006.

- MARTINOIA, E. et al. ATP-dependent glutathione S-conjugate export pump in the vacuolar membrane of plants. **Nature**, London, v. 364, n. 6434, p. 247-249, 1993.
- MASSA, D.; KRENZ, B.; GERHARDS, R. Target-site resistance to ALS-inhibiting herbicides in *Apera spica-venti* populations is conferred by documented and previously unknown mutations. **Weed Research**, Malden, v. 51, n. 3, p. 294-303, 2011.
- MATHIASSEN, S. K.; KUDSK, P. Influence of broad-leaved weed herbicides on the activity of fenoxaprop-P-ethyl. **Weed Research**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 283-289, 1998.
- MCKENZIE, J. A. The character or the variation: the genetic analysis of the insecticide-resistance phenotype. **Bulletin of Entomological Research**, Oxon, v. 90, n. 1, p. 3-7, 2000.
- MENEZES, V. G. et al. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, p. 1047-1052, 2009.
- MENEZES, V. G.; RAMIREZ, H. V. Resistance of *Echinochloa crus-galli* L. to quinclorac in flooded rice in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3., 2000, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Origen: IWSS, 2000. p. 140.
- MEROTTO, A. et al. Cross-resistance to herbicides of five ALS-inhibiting groups and sequencing of the ALS gene in *Cyperus difformis* L. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 4, p. 1389-1398, 2009.
- MEROTTO JR., A. et al. Resistência de Capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*) aos herbicidas inibidores da enzima ALS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2009. 619 p.
- MEROTTO JR., A. et al. Resistência de *Echinochloa* sp. à quinclorac. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000. Foz do Iguaçu. **Resumos...** Londrina: SBCPD, 2000. p. 513.
- MEROTTO, A.; JASIENIUK, M.; FISCHER, A. J. Distribution and cross-resistance patterns of ALS-inhibiting herbicide resistance in smallflower umbrella sedge (*Cyperus difformis*). **Weed Science**, Lawrence, v. 58, n. 1, p. 22-29, 2010.
- MILLIGAN, A. S. et al. The expression of a maize glutathione S-transferase gene in transgenic wheat confers herbicide tolerance, both in planta and in vitro. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 7, n. 4, p. 301-315, 2001.
- MILNER, L. J.; READE, J. P. H.; COBB, A. H. The effect of temperature on glutathione S-transferase activity and glutathione content in *Alopecurus myosuroides* (black grass) biotypes susceptible and resistant to herbicides. **Weed Research**, Oxford, v. 47, n. 2, p. 106-112, 2007.
- MORSE, P. M. Some comments on assessment of joint action in herbicide mixtures. **Weed Science**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 58-71, 1978.
- MYERS, P. F.; COBLE, H. D. Antagonism of graminicide activity on annual grass species by imazethapyr. **Weed Technology**, Champaign, v. 6, n. 2, p. 333-338, 1992.

NELSON, D. R. et al. Comparative genomics of rice and *Arabidopsis*. Analysis of 727 cytochrome P450 genes and pseudogenes from a monocot and a dicot. **Plant Physiology**, Rockville, v. 135, n. 2, p. 756-772, 2004.

NEVE, P.; POWLES, S. High survival frequencies at low herbicide use rates in populations of *Lolium rigidum* result in rapid evolution of herbicide resistance. **Heredity**, London, v. 95, n. 6, p. 485-492, 2005a.

NEVE, P.; POWLES, S. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 110, n. 6, p. 1154-1166, 2005b.

NORRIS, J. L.; SHAW, D. R.; SNIPES, C. E. Weed control from herbicide combinations with three formulations of glyphosate. **Weed Technology**, Lawrence, v. 15, n. 3, p. 552-558, 2001.

O'BARR, J. H. et al. Rice response to clomazone as influenced by application rate, soil type, and planting date. **Weed Technology**, Lawrence, v. 1, n. 1, p. 199-205, 2007.

OSUNA, M. D. et al. Cross-resistance to bispyribac-sodium and bensulfuron-methyl in *Echinochloa phyllopogon* and *Cyperus difformis*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 73, n. 1, p. 9-17, 2002.

PARK, K. W.; FANDRICH, L.; MALLORY-SMITH, C. A. Absorption, translocation, and metabolism of propoxycarbazone-sodium in ALS-inhibitor resistant *Bromus tectorum* biotypes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 79, n. 1, p. 18-24, 2004.

PIZARRO, H. Periphyton biomass on *Echinochloa polystachya* (HBK) hitch. of a lake of the Lower Parana River floodplain, Argentina. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 397, p. 227-239, 1999.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, p. 317-47, 2010.

PRESTON, C. et al. A decade of glyphosate-resistant *Lolium* around the world: mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. **Weed Science**, Lawrence, v. 57, n. 4, p. 435-441, 2009.

PRESTON, C. et al. Differential translocation of paraquat in paraquat-resistant populations of *Hordeum leporinum*. **Weed Research**, Oxford, v. 45, n. 4, p. 289-295, 2005.

PRESTON, C. et al. Multiple resistance to dissimilar herbicide chemistries in a biotype of *Lolium rigidum* due to enhanced activity of several herbicide degrading enzymes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 54, n. 2, p. 123-134, 1996.

PRESTON, C. Herbicide resistance in weeds endowed by enhanced detoxification: complications for management. **Weed Science**, Lawrence, v. 52, n. 3, p. 448-453, 2004.

RAHMAN, M. M.; BIN SAHID, I.; JURAIMI, A.S. Study on resistant biotypes of *Echinochloa crus-galli* in Malaysia. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 4, n. 2, p. 107-115, 2010.

- RASBAND, W. S. **ImageJ Software**. Bethesda: U.S. National Institutes of Mental Health, 1997. Disponível em: <<http://rsbweb.nih.gov/ij/>>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- RENTON, M. et al. Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems? **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 283, n. 1, p. 14-27, 2011.
- RITZ, C. Toward a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Malden, v. 29, n. 1, p. 220-229, 2010.
- RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Bioassay analysis using R. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 12, n. 5, p. 1-22, 2005.
- ROSO, A. C.; MEROTTO, A.; DELATORRE, C. A. Bioensaios para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 411-419, 2010.
- ROUX, F.; MATEJICEK, A.; REBOUD, X. Response of *Arabidopsis thaliana* to 22 ALS inhibitors: baseline toxicity and cross-resistance of *csr1-1* and *csr1-2* resistant mutants. **Weed Research**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 220-227, 2005.
- RUIZ-SANTAELLA, J. P. et al. Resistance mechanisms to cyhalofop-butyl in a biotype of *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. from California. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, n. 22, p. 95-100, 2006.
- SALES, M. A. et al. Amino acid substitutions in the acetolactate synthase gene red rice (*Oryza sativa*) confer resistance to imazethapyr. **Weed Science**, Lawrence, v. 56, n. 4, p. 485-489, 2008.
- SANCHOTENE, D. M. et al. Efeito do protetor dietholate na seletividade de clomazone em cultivares de arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 339-346, 2010a.
- SANCHOTENE, D. M. et al. Phorate e dietholate protegem o arroz da fitotoxicidade do clomazone em doses elevadas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 909-912, 2010b.
- SAS INSTITUTE. **Base SAS_ 9.1**: procedures guide. Cary: SAS Institute, 2004.
- SATOSHI, I. et al. Isolation of cytochrome P450 genes and their expression in a multiple-herbicide resistant biotype of late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYTOCHROME P450, 16., 2009, Nago. **Proceedings...** Nago, 2009. p. 143-145.
- SCHRODER, P. et al. How plants cope with foreign compounds - Translocation of xenobiotic glutathione conjugates in roots of barley (*Hordeum vulgare*). **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 14, n. 2, p. 114-122, 2007.
- SCHULER, M. A.; WERCK-REICHHART, D. Functional genomics of P450s. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 54, p. 629-667, 2003.
- SCHULZ, B.; KOLUKISAGLU, H. U. Genomics of plant ABC transporters: The alphabet of photosynthetic life forms or just holes in membranes? **Febs Letters**, Amsterdam, v. 580, n. 4, p. 1010-1016, 2006.

SEEFELDT, S. S. et al. Production of herbicide-resistant jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) x wheat (*Triticum aestivum*) hybrids in the field by natural hybridization. **Weed Science**, Lawrence, v. 46, n. 6, p. 632-634, 1998.

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

SHANER, D. L. Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. **Weed Science**, Lawrence, v. 57, n. 1, p. 118-123, 2009.

SILVA, A. A. et al. Efeito de mistura de herbicida com inseticida sobre a cultura do milho, as plantas daninhas e a lagarta-do-cartucho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 517-525, 2005.

SIMINSZKY, B. et al. Expression of a soybean cytochrome P450 monooxygenase cDNA in yeast and tobacco enhances the metabolism of phenylurea herbicides. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, n. 4, p. 1750-1755, 1999.

SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450-mediated herbicide metabolism. **Phytochemistry Reviews**, Dordrecht, v.5, n.2-3, p.445-458, 2006.

SINGH, S.; KIRKWOOD, R.C.; MARSHALL, G. Effect of the monooxygenase inhibitor piperonyl butoxide on the herbicidal activity and metabolism of isoproturon in herbicide resistant and susceptible biotypes of *Phalaris minor* and wheat. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 59, n. 3, p. 143-153, 1998.

SKIPSEY, M. et al. Manipulation of plant tolerance to herbicides through co-ordinated metabolic engineering of a detoxifying glutathione transferase and thiol cosubstrate. **Plant Biotechnology Journal**, Malden, v. 3, n. 4, p. 409-420, 2005.

SOAR, C. J. et al. Reduced paraquat translocation in paraquat resistant *Arctotheca calendula* (L.) Levyns is a consequence of the primary resistance mechanism, not the cause. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 76, n. 3, p. 91-98, 2003.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p.

SUNOHARA, Y.; MATSUMOTO, H. Oxidative injury induced by the herbicide quinclorac on *Echinochloa oryzicola* Vasing. and the involvement of antioxidative ability in its highly selective action in grass species. **Plant Science**, Clare, v. 167, n. 3, p. 597-606, 2004.

TANAKA, Y. et al. Sulfonylurea derivatives with fused heterocycle moiety control sulfonylurea-resistant paddy weeds. **Weed Biology and Management**, Oxford, v. 6, n. 2, p. 115-119, 2006.

TARDIF, F. J.; POWLES, S. B. Effect of malathion on resistance to soil-applied herbicides in a population of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). **Weed Science**, Lawrence, v. 47, n. 3, p. 258-261, 1999.

TIJET, N.; HELVIG, C.; FEYEREISEN, R. The cytochrome P450 gene superfamily in *Drosophila melanogaster*: Annotation, intron-exon organization and phylogeny. **Gene**, Amsterdam, v. 262, n. 1-2, p. 189-198, 2001.

TRANEL, P. J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Science**, Lawrence, v. 50, n. 6, p. 700-712, 2002.

ULGUIM, A. D. R. et al. Ocorrência de capim-arroz (*Echinochloa colonun* (L.) Link) resistente a herbicidas inibidores de ALS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1328-1332.

VASILAKOGLU, I. B.; ELEFTHEROHORINOS, I. G.; DHIMA, K. V. Propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) biotypes found in Greece. **Weed Technology**, Lawrence, v. 14, n. 3, p. 524-529, 2000.

VALVERDE, B.E. Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin America. **Weed Technology**, Lawrence, v. 21, n. 2, p. 310-323, 2007.

VELDHUIS, L. J. et al. Metabolism-based resistance of a wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) biotype to ethametsulfuron-methyl. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 7, p. 2986-2990, 2000.

VIDAL, R. A. et al. Antagonismo na associação de glyphosate e triazinas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 301-306, 2003.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.

WEBSTER, E. P.; BALDWIN, F. L.; DILLON, T .L. The potential for clomazone use in rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, Lawrence, v. 13, n. 2, p. 390-393, 1999.

WERCK-REICHHART, D.; HEHN, A.; DIDIERJEAN, L. Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 5, n. 3, p. 116-123, 2000.

WHITE, A. R. et al. Augmentine® (amoxicillin/clavulanate) in the treatment of community-acquired respiratory tract infection: a review of the continuing development of an innovative antimicrobial agent. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, Oxford, v. 53, n. 1, p. i3-i20, 2004.

YAMADA, T. et al. Enhancement of metabolizing herbicides in young tubers of transgenic potato plants with the rat CYP1A1 gene. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 105, n. 4, p. 515-520, 2002.

YASUOR, H. et al. Differential oxidative metabolism and 5-ketoclomazone accumulation are involved in *Echinochloa phyllopogon* resistance to clomazone. **Plant Physiology**, Rockville, v. 153, n. 1, p. 319-326, 2010.

YASUOR, H. et al. Mechanism of resistance to penoxsulam in late watergrass [*Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss.]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 9, p. 3653-3660, 2009.

- YASUOR, H. et al. Quinclorac resistance: a concerted hormonal and enzymatic effort in *Echinochloa phyllopogon*. **Pest Management Science**, Malden, v. 68, n. 1, p. 108-115, 2012.
- YASUOR, H. et al. Responses to clomazone and 5-ketoclorazone by *Echinochloa phyllopogon* resistant to multiple herbicides in Californian rice fields. **Pest Management Science**, Sussex, v. 64, n. 10, p. 1031-1039, 2008.
- YORK, A. C.; JORDAN, D. L. Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to clomazone and insecticide combinations. **Weed Technology**, Champaign, v. 6, n. 4, p. 796-800, 1992.
- YORK, A. C.; JORDAN, D. L.; FRANS, R. E. Insecticides modify cotton (*Gossypium hirsutum*) response to clomazone. **Weed Technology**, Champaign, v. 5, n. 4, p. 729-735, 1991.
- YU, Q. et al. Distinct non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate, ACCase and ALS-inhibiting herbicides in multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum*. **Planta**, New York, v. 230, n. 4, p. 713-723, 2009.
- YU, Q. et al. Tolerance to acetolactate synthase and acetyl-coenzyme A carboxylase inhibiting herbicides in *Vulpia bromoides* is conferred by two co-existing resistance mechanisms. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 78, n. 1, p. 21-30, 2004b.
- YU, Q.; CAIRNS, A.; POWLES, S.B. Paraquat resistance in a population of *Lolium rigidum*. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, n. 3, p. 247-254, 2004a.
- YUAN, J. S.; TRANEL, P. J.; STEWART, C. N. Non-target-site herbicide resistance: a family business. **Trends in Plant Science**, London, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2007.
- YUN, M. S. et al. Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and -susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 83, n. 2-3, p. 107-114, 2005.
- ZHANG, J. H.; HAMILL, A. S.; WEAVER, S. E. Antagonism and synergism between herbicides - trends from previous studies. **Weed Technology**, Champaign, v. 9, n. 1, p. 86-90, 1995.
- ZHANG, W. et al. Differential tolerance of rice (*Oryza sativa*) varieties to clomazone. **Weed Technology**, Lawrence, v. 18, n. 1, p. 73-76, 2004.
- ZHANG, W. et al. Fenoxaprop interactions for barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in rice. **Weed Technology**, Lawrence, v. 19, n. 2, p. 293-297, 2005a.
- ZHANG, W.; WEBSTER, E. P. Shoot and root growth of rice (*Oryza sativa*) in response to V-10029. **Weed Technology**, Lawrence, v. 16, n. 4, p. 768-772, 2002.
- ZHANG, W.; WEBSTER, E. P.; LEON, C. T. Response of rice cultivars to V-10029. **Weed Technology**, Lawrence, v. 19, n. 2, p. 307-311, 2005b.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Análises de variância dos bioensaios de sementes, plântulas e perfilhos para os herbicidas imazethapyr e imazapic.

1- Bioensaio de sementes

A) Germinação (%)

Imazethapyr

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Biótipo	1	457,83	4,63	0,036
Dose	8	2994,28	30,26	0,000
Dose x Biótipo	8	398,07	4,02	0,001
Erro	54	99,02		

Imazapyr + imazapic

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Biótipo	1	42,197	0,826	0,367
Dose	8	2252,759	44,116	0,000
Dose x Biótipo	8	297,172	5,820	0,000
Erro	54	51,065		

B) Comprimento de raiz

Imazethapyr

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Biótipo	1	10,308	21,273	0,000
Dose	8	14,671	30,277	0,000
Dose x Biótipo	8	0,541	1,118	0,366
Erro	54	0,485		

Imazapyr + imazapic

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Biótipo	1	9,965	27,694	0,000
Dose	8	14,859	41,294	0,000
Dose x Biótipo	8	0,547	1,520	0,172
Erro	54	0,360		

continuação. APÊNDICE 1. Análises de variância dos bioensaios de sementes, plântulas e perfilhos para os herbicidas imazethapyr e imazethapyr + imazapic.

2 – Bioensaio de Plântulas

A) Controle visual

Imazethapyr – 4DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	11757,38	1128,71	< 0,0001
Biótipo	1	7812,50	750,00	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	492,97	47,32	< 0,0001
Erro	54	10,42		

Imazapyr + imazapic – 4DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	10474,31	535,49	< 0,0001
Biótipo	1	6903,13	352,92	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	589,06	30,12	< 0,0001
Erro	54	19,56		

Imazethapyr – 7DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	11887,59	335,65	< 0,0001
Biótipo	1	8234,72	232,51	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	618,32	17,46	< 0,0001
Erro	54	35,42		

Imazapyr + imazapic – 7DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	11348,44	236,27	< 0,0001
Biótipo	1	9683,68	201,61	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	1653,99	34,43	< 0,0001
Erro	54	48,03		

B) Variação da massa fresca

Imazethapyr

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	0,0218	430,61	< 0,0001
Biótipo	1	0,0835	1648,26	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	0,0017	33,78	< 0,0001
Erro	54	0,00005		

Imazapyr + imazapic

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	0,0226	3634,15	< 0,0001
Biótipo	1	0,0445	7142,14	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	0,0019	308,84	< 0,0001
Erro	54	0,000006		

continuação. APÊNDICE 1. Análises de variância dos bioensaios de sementes, plântulas e perfilhos para os herbicidas imazethapyr e imazethapyr + imazapic.

3 – Bioensaio de Perfilhos

Imazethapyr

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	0,0033	57,61	< 0,0001
Biótipo	1	0,0015	25,76	< 0,0001
Dose x Biótipo	8	0,0002	3,64	0,0019
Erro	54	0,00005		

Imazapyr + imazapic

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	0,0031	21,94	< 0,0001
Biótipo	1	0,0016	11,51	0,0013
Dose x Biótipo	8	0,0004	3,15	0,0054
Erro	54	0,0001		

APÊNDICE 2. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em aspersão foliar.

1 – Imazethapyr

Controle 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	6	20328,22	441,21	< 0,0001
Biótipo	7	11591,96	251,59	< 0,0001
Inibidores	1	359,81	7,81	0,0043
Biot. x Inibidor	7	556,80	12,08	< 0,0001
Dose x Biot.	42	587,50	12,75	< 0,0001
Dose x Inib.	6	189,48	4,11	0,0004
Dose x Biot. X Inib.	42	334,96	7,27	< 0,0001
Resíduo	424	46,07		

Controle 14 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	6	32829,96	531,43	< 0,0001
Biótipo	7	19,38,42	308,18	< 0,0001
Inibidores	1	941,79	15,25	0,0001
Biot. x Inibidor	7	282,06	4,57	< 0,0001
Dose x Biot.	42	848,78	13,74	< 0,0001
Dose x Inib.	6	876,01	14,18	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	42	288,13	4,66	< 0,0001
Resíduo	422	61,78		

Controle 21 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	6	38007,44	294,61	< 0,0001
Biótipo	7	19569,58	151,69	< 0,0001
Inibidores	1	3542,97	27,46	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	386,55	3,00	0,0044
Dose x Biot.	42	1181,93	9,16	< 0,0001
Dose x Inib.	6	1073,61	8,32	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	42	245,47	2,68	< 0,0001
Resíduo	417	129,01		

Controle 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	6	39362,12	235,95	< 0,0001
Biótipo	7	32418,08	194,32	< 0,0001
Inibidores	1	2819,24	16,90	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	623,81	3,74	0,0006
Dose x Biot.	42	1818,24	10,90	< 0,0001
Dose x Inib.	6	431,03	2,58	0,0181
Dose x Biot. X Inib.	42	314,22	1,88	0,0011
Resíduo	415	166,82		

continuação. APÊNDICE 2. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em aspersão foliar.

Massa seca da parte aérea 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	6	0,76	10,95	< 0,0001
Biótipo	7	1,35	19,42	< 0,0001
Inibidores	1	1,61	23,16	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	0,21	2,96	0,0049
Dose x Biot.	42	0,10	1,46	0,0364
Dose x Inib.	6	0,68	9,75	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	42	0,10	1,41	0,0503
Resíduo	403	0,07		

2 – Quinclorac

Controle 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	61688,97	2679,14	< 0,0001
Biótipo	7	27479,36	1193,42	< 0,0001
Inibidores	1	2830,03	122,91	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	999,92	43,43	< 0,0001
Dose x Biot.	49	987,39	42,88	< 0,0001
Dose x Inib.	7	185,12	8,04	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	238,67	10,37	< 0,0001
Resíduo	497	23,03		

Controle 14 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	76814,13	2506,87	< 0,0001
Biótipo	7	31675,02	1033,73	< 0,0001
Inibidores	1	1561,76	50,97	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	233,43	7,62	< 0,0001
Dose x Biot.	49	847,27	27,65	< 0,0001
Dose x Inib.	7	669,37	21,85	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	52,69	1,72	0,0025
Resíduo	495	30,64		

Controle 21 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	74157,13	12498,60	< 0,0001
Biótipo	7	60765,44	10241,50	< 0,0001
Inibidores	1	542,38	91,41	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	234,22	39,48	< 0,0001
Dose x Biot.	49	1448,43	244,12	< 0,0001
Dose x Inib.	7	344,43	58,05	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	137,20	23,12	< 0,0001
Resíduo	495	5,93		

continuação. APÊNDICE 2. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em aspersão foliar.

Controle 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	74041,96	21317,10	< 0,0001
Biótipo	7	70413,15	20272,40	< 0,0001
Inibidores	1	345,13	99,36	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	193,21	55,63	< 0,0001
Dose x Biot.	49	1503,20	432,78	< 0,0001
Dose x Inib.	7	333,78	96,10	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	66,52	19,15	< 0,0001
Resíduo	491	3,47		

Massa seca da parte aérea 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	0,62	23,12	< 0,0001
Biótipo	7	0,78	29,04	< 0,0001
Inibidores	1	0,32	11,82	0,0006
Biot. x Inibidor	7	0,06	2,17	0,0352
Dose x Biot.	49	0,07	2,43	< 0,0001
Dose x Inib.	7	0,15	5,41	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	0,03	1,18	0,1988
Resíduo	476	0,03		

3 – Clomazone

Controle 2 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	15391,74	139,90	< 0,0001
Biótipo	7	5654,66	51,40	< 0,0001
Inibidores	1	29486,43	268,01	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	546,84	4,97	< 0,0001
Dose x Biot.	49	683,63	6,21	< 0,0001
Dose x Inib.	7	1746,74	15,88	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	388,52	3,53	< 0,0001
Resíduo	487	110,02		

Controle 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	48580,33	981,96	< 0,0001
Biótipo	7	3198,49	66,19	< 0,0001
Inibidores	1	42685,67	823,05	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	616,35	12,02	< 0,0001
Dose x Biot.	49	374,92	7,57	< 0,0001
Dose x Inib.	7	1550,06	30,24	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	333,05	6,69	< 0,0001
Resíduo	488	49,79		

continuação. APÊNDICE 2. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em aspersão foliar.

Controle 14 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	40229,25	1154,09	< 0,0001
Biótipo	7	269,23	7,72	< 0,0001
Inibidores	1	26464,50	759,21	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	107,16	3,07	< 0,0035
Dose x Biot.	49	148,59	4,26	< 0,0001
Dose x Inib.	7	2464,44	70,70	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	172,91	4,96	< 0,0001
Resíduo	487	34,86		

Controle 21 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	25878,37	852,95	< 0,0001
Biótipo	7	285,61	9,41	< 0,0001
Inibidores	1	29026,95	956,72	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	210,30	6,93	< 0,0001
Dose x Biot.	49	87,24	2,88	< 0,0001
Dose x Inib.	7	1358,17	44,77	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	42,83	1,41	0,0393
Resíduo	487	30,34		

Controle 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	20234,45	1168,39	< 0,0001
Biótipo	7	527,47	30,46	< 0,0001
Inibidores	1	12026,30	694,43	< 0,0001
Biot. x Inibidor	7	643,07	37,13	< 0,0001
Dose x Biot.	49	76,72	4,43	< 0,0001
Dose x Inib.	7	911,96	52,66	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	95,09	5,49	< 0,0001
Resíduo	486	17,32		

Massa seca da parte aérea 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	0,07	1,81	0,0827
Biótipo	7	0,64	15,54	< 0,0001
Inibidores	1	0,04	1,05	0,3070
Biot. x Inibidor	7	0,04	0,94	0,4785
Dose x Biot.	49	0,06	1,36	0,0574
Dose x Inib.	7	0,39	9,51	< 0,0001
Dose x Biot. X Inib.	49	0,04	1,08	0,3291
Resíduo	480	0,041		

APÊNDICE 3. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em solução hidropônica.

1 Ensaios preliminares para definição de doses

A) ABT

Injúria 4 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	230,06	19,82	< 0,0001
Erro	21	11,61		

Injúria 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	782,14	164,25	< 0,0001
Erro	21	4,76		

Injúria 10 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	1922,92	117,47	< 0,0001
Erro	21	16,40		

Massa seca raiz

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,000019	3,43	0,0161
Erro	21	0,000056		

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,000195	4,97	0,0026
Erro	21	0,000039		

B) PBO

Injúria 4 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	12,50	0,74	0,63
Erro	21	16,96		

Injúria 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	63,39	5,07	0,0023
Erro	21	12,50		

Injúria 10 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	272,32	0,98	0,4633
Erro	21	277,98		

continuação. APÊNDICE 3. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em solução hidropônica.

Massa seca raiz

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,000017	1,27	0,3122
Erro	21	0,000014		

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,00011	1,75	0,1580
Erro	21	0,00006		

C) Malathion

Injúria 4 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	327,58	32,49	< 0,0001
Erro	21	10,08		

Injúria 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	1125,00	72,69	72,69	< 0,0001
Erro	15,47	15,47		

Injúria 10 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	1822,32	53,71	< 0,0001
Erro	21	33,93		

Massa seca raiz

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,0003	3,40	0,0167
Erro	21	0,000015		

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,000368	11,37	< 0,0001
Erro	21	0,000032		

D) Imazethapyr

Injúria 4 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	7	6951,28	344,42	< 0,0001
Biótipo	1	206,64	10,24	0,0024
Conc. x Biot.	7	130,75	6,48	< 0,0001
Erro	48	20,18		

continuação. APÊNDICE 3. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em solução hidropônica.

Injúria 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	7	7960,71	424,57	< 0,0001
Biótipo	1	225,00	12,00	0,0011
Conc. x Biot.	7	96,43	5,14	0,0002
Erro	48	18,75		

Injúria 10 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	7	8184,78	427,38	< 0,0001
Biótipo	1	1630,14	85,12	< 0,0001
Conc. x Biot.	7	632,99	33,05	< 0,0001
Erro	48	19,15		

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	7	0,00012	17,79	< 0,0001
Biótipo	1	0,000018	2,61	0,1130
Conc. x Biot.	7	0,000009	1,35	0,2475
Erro	48	0,000007		

E) Quinclorac

Injúria 4 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	9464,43	534,46	< 0,0001
Biótipo	1	26796,87	1513,24	< 0,0001
Conc. x Biot.	6	2153,13	121,59	< 0,0001
Erro	42	17,71		< 0,0001

Injúria 7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	9818,57	538,23	< 0,0001
Biótipo	1	17821,13	976,92	< 0,0001
Conc. x Biot.	6	2293,56	125,73	< 0,0001
Erro	40	18,24		< 0,0001

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Concentração	6	0,0017	55,34	< 0,0001
Biótipo	1	0,0025	82,21	< 0,0001
Conc. x Biot.	6	0,00029	9,50	< 0,0001
Erro	39	0,000031		< 0,0001

continuação. APÊNDICE 3. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em solução hidropônica.

2 Experimentos com os inibidores de metabolização

A) Imazethapyr

6 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	131995,38	7835,20	<0,0001
Biótipo	5	1076,72	63,91	<0,0001
Inibidores	3	328,10	19,48	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	26,01	1,55	0,084
Dose x Biot.	40	318,55	18,9	<0,0001
Dose x Inib.	24	111,29	6,6	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	120	36,90	2,19	<0,0001
Resíduo	648	16,85		

9 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	145193,94	6978,74	<0,0001
Biótipo	5	1859,04	89,35	<0,0001
Inibidores	3	675,04	32,45	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	31,97	1,54	0,087
Dose x Biot.	40	473,1	22,74	<0,0001
Dose x Inib.	24	136,54	6,56	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	120	34,29	1,65	<0,0001
Resíduo	832	20,78		

12 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	170191,67	8823,97	<0,0001
Biótipo	5	29,14,67	151,12	<0,0001
Inibidores	3	1538,79	79,78	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	62,83	3,26	<0,0001
Dose x Biot.	40	520,51	26,99	<0,0001
Dose x Inib.	24	177,02	9,18	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	120	57,17	2,96	<0,0001
Resíduo	832	19,31		

14 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	176737,28	4554,48	<0,0001
Biótipo	5	2797,73	72,10	<0,0001
Inibidores	3	1313,24	33,84	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	246,89	6,36	<0,0001
Dose x Biot.	40	617,24	15,91	<0,0001
Dose x Inib.	24	222,87	5,74	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	120	78,97	2,04	<0,0001
Resíduo	832	38,71		

continuação. APÊNDICE 3. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em solução hidropônica.

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	8	0,88	518,78	<0,0001
Biótipo	5	0,029	17,69	<0,0001
Inibidores	3	0,018	10,90	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	0,00197	1,16	0,2955
Dose x Biot.	40	0,0061	3,61	<0,0001
Dose x Inib.	24	0,0038	2,25	0,0006
Dose x Biot. X Inib.	120	0,0021	1,23	0,05
Resíduo	832	0,0017		

B) Quinclorac

5 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	144304,53	3933,30	<0,0001
Biótipo	5	22983,85	626,47	<0,0001
Inibidores	3	1344,40	36,64	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	67,25	1,83	0,0275
Dose x Biot.	35	3763,19	102,57	<0,0001
Dose x Inib.	21	433,94	11,83	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	105	70,56	1,92	<0,0001
Resíduo	573	36,75		

7 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	137013,49	1541,31	<0,0001
Biótipo	5	20983,61	236,05	<0,0001
Inibidores	3	1599,90	18,00	<0,0001
Biot. x Inibidor	15	97,89	1,10	0,3516
Dose x Biot.	35	3709,15	41,73	<0,0001
Dose x Inib.	21	611,54	6,88	<0,0001
Dose x Biot. X Inib.	105	133,70	1,50	0,002
Resíduo	571	88,90		

Massa seca parte aérea

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Dose	7	0,1399	125,91	<0,0001
Biótipo	5	0,0139	12,54	<0,0001
Inibidores	3	0,0054	4,84	0,0025
Biot. x Inibidor	15	0,0011	0,98	0,4723
Dose x Biot.	35	0,0045	4,01	<0,0001
Dose x Inib.	21	0,0025	2,27	0,0011
Dose x Biot. X Inib.	105	0,0012	1,12	0,2166
Resíduo	536	0,0011		

APÊNDICE 4. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em condições de campo.

1 – Imazethapyr

Fitointoxicação 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	51,04	1,00	0,4457
Erro	18	51,04		

Fitointoxicação 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	0	.	.
Erro	18	0		

Controle de capim-arroz 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	1882,25	12,14	<0,0001
Erro	17	154,99		

Controle de capim-arroz 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	1438,42	11,02	<0,0001
Erro	17	130,51		

Controle de capim-arroz 45 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	526,04	1,90	0,1451
Erro	18	277,43		

Controle de capim-arroz 64 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	619,17	2,88	0,046
Erro	17	214,95		

Controle de capim-arroz 100 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	184,17	7,17	0,0008
Erro	18	25,69		

Massa seca de controle de capim-arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	1854,61	1,24	0,3384
Erro	15	1493,44		

2 – Quinclorac

Fitointoxicação 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	51,04	1,00	0,4457
Erro	18	51,04		

continuação. APÊNDICE 4. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em condições de campo.

Fitointoxicação 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	0	.	0,4457
Erro	18	0		

Controle de capim-arroz 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	8794,38	356,73	<0,0001
Erro	18	24,65		

Controle de capim-arroz 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	10150,54	763,68	<0,0001
Erro	18	13,29		

Controle de capim-arroz 45 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	10871,54	977,22	<0,0001
Erro	18	11,13		

Controle de capim-arroz 64 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	11591,57	19409,10	<0,0001
Erro	18	0,59		

Controle de capim-arroz 100 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	11901,04	11425,00	<0,0001
Erro	18	1,04		

Massa seca de controle de capim-arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	5806,68	5,09	0,0072
Erro	15	1140,44		

3 – Clomazone

Fitointoxicação 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	3057,45	29,60	<0,0001
Erro	18	103,31		

Fitointoxicação 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	306,04	38,32	<0,0001
Erro	18	7,99		

continuação. APÊNDICE 4. Análise de variância do experimento de inibidores de metabolização em condições de campo.

Controle de capim-arroz 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	7854,17	120,32	<0,0001
Erro	18	65,28		

Controle de capim-arroz 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	7672,08	220,51	<0,0001
Erro	18	34,79		

Controle de capim-arroz 45 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	8781,04	159,05	<0,0001
Erro	18	55,21		

Controle de capim-arroz 64 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	6528,75	69,35	<0,0001
Erro	18	94,14		

Controle de capim-arroz 100 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	3684,17	43,84	<0,0001
Erro	18	84,03		

Massa seca de controle de capim-arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	5	4021,42	3,40	<0,0001
Erro	14	1183,36		

APÊNDICE 5. Análise de variância dos parâmetros analisados no experimento com diferentes herbicidas para o controle de capim-arroz. Palmares do Sul, RS. 2010/11.

Fitointoxicação dos herbicidas aplicados em pré-emergência

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	11	1032,39	17,76	< 0,0001
Blocos	3	118,75	2,04	0,12
Erro	33	58,14		

Fitointoxicação 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	222,48	3,15	< 0,0001
Blocos	3	285,22	4,02	0,0098
Erro	90	70,91		

Fitointoxicação 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	4,87	0,93	0,54
Blocos	3	3,43	0,67	0,57
Erro	90	5,09		

Número de plantas em pré-aplicação

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	11	3130,57	6,71	< 0,0001
Blocos	3	1654,08	3,55	0,0249
Erro	33	466,51		

Número de plântulas em pré-aplicação

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	11	113067,34	3,00	0,0071
Blocos	3	514525,33	13,66	< 0,0001
Erro	33	37660,36		

Número de plantas de capim-arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	9961,69	4,18	< 0,0001
Blocos	3	8087,37	3,39	0,0236
Erro	90	2384,34		

Massa seca de capim-arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	2587,97	3,52	< 0,0001
Blocos	2	2797,41	3,81	0,03
Erro	60	735,08		

continuação. APÊNDICE 5. Análise de variância dos parâmetros analisados no experimento com diferentes herbicidas para o controle de capim-arroz. Palmares do Sul, RS. 2010/11.

Massa seca de arroz 38 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	539,64	1,34	0,17
Blocos	2	481,15	1,20	0,31
Erro	60	402,62		

Controle visual dos herbicidas pré-emergentes

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	11	4107,79	58,18	< 0,0001
Blocos	3	85,39	1,21	0,32
Erro	33	70,60		

Controle visual 11 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	3032,11	24,87	< 0,0001
Blocos	3	21,38	0,18	0,9128
Erro	90	121,91		

Controle visual 28 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	3032,64	19,64	< 0,0001
Blocos	3	146,39	0,94	0,42
Erro	90	154,93		

Controle visual 45 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	3793,95	43,93	< 0,0001
Blocos	3	675,28	7,82	0,0001
Erro	90	86,36		

Controle visual 64 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	3961,50	57,10	< 0,0001
Blocos	3	423,09	6,10	0,0008
Erro	90	69,38		

Controle visual 100 DAT

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	5039,18	28,49	< 0,0001
Blocos	3	502,42	2,84	0,0423
Erro	90	176,85		

continuação. APÊNDICE 5. Análise de variância dos parâmetros analisados no experimento com diferentes herbicidas para o controle de capim-arroz. Palmares do Sul, RS. 2010/11.

Rendimento de grãos

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Significância
Tratamentos	30	3546270,90	5,31	<0,0001
Blocos	3	1232348,60	1,85	0,1483
Erro	62	667901,20		

9 VITA

Felipe de Oliveira Matzenbacher é filho de Artur Ervino Haack Matzenbacher e Rosana de Oliveira Matzenbacher. Nasceu em Osório/RS em 14 de agosto de 1984.

Cursou o primeiro grau no Colégio General Osório, em Osório/RS. Cursou o segundo grau no Colégio Idefonso Simões Lopes, em Osório/RS. Em 2002 ingressou no curso de Agronomia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde se graduou Engenheiro Agrônomo em 2008. Durante a graduação, trabalhou com pesquisas relacionadas à erosão do solo, sob orientação do Prof. Ph.D. Elemar Antonino Cassol, e com pesquisas na área de Herbologia, sob orientação do Prof. PhD. Aldo Merotto Junior.

Trabalhou em assistência técnica como representante técnico de proteção de cultivos pela empresa BASF nas culturas do arroz irrigado e soja, nas regiões da Planície Costeira Externa e Interna do RS, durante os anos agrícolas de 2008/09 e 2009/2010.

Em março de 2010, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia de Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFRGS. Atualmente, é pesquisador da Fundação de Apoio e Desenvolvimento de Tecnologia do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).