

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Práticas culturais associadas ao controle químico de
capim-arroz e arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado**

Guilherme Vestena Cassol

Pelotas, 2013

GUILHERME VESTENA CASSOL

**PRÁTICAS CULTURAIS ASSOCIADAS AO CONTROLE QUÍMICO DE CAPIM-
ARROZ E ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

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

Orientador: Luis Antonio de Avila, Ph.D.

Co-Orientadores: Dirceu Agostinetto, Dr.

José Alberto Noldin, Ph.D.

Aldo Merotto Júnior, Ph.D.

Pelotas, 2013

Banca Examinadora

Nelson Diehl Kruse, Dr.

Roberta Manica Berto, Dr^a.

Edinalvo Rabaioli Camargo, Ph.D.

Luis Antonio de Avila, Ph.D.
(Orientador)

Aos meus pais, Florindo e Ananir;
Às minhas irmãs, Renata e Ana Paula;
À minha esposa, Carla.

OFEREÇO E DEDICO

*“Não importa o que você seja,
quem você seja, ou que deseje na vida,
a ousadia em ser diferente reflete na sua personalidade,
no seu caráter, naquilo que você é.
E é assim que as pessoas lembrarão de você um dia.”*

(Ayrton Senna)

Agradecimentos

A DEUS, pela fonte de proteção, acompanhamento, sabedoria e perseverança em todos os momentos da minha caminhada.

A minha família, pelo carinho, compreensão, dedicação, incentivo e pelas horas de convivência que lhes foram suprimidas.

À minha esposa Carla Rejane Zemolin que esteve presente em todos os momentos, pelo auxílio, amor, carinho e incentivo.

Ao professor Luis Antonio de Avila, pela amizade, dedicação, ensinamentos e orientação durante os cursos de Graduação e Pós-graduação.

Aos professores Dirceu Agostinetto, Jesus Juarez de Oliveira Pinto, José Alberto Noldin e Aldo Merotto Júnior pela colaboração nos trabalhos da dissertação.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realização do curso de Pós-graduação e a Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realização da graduação. Ao Programa de Pós-graduação em Fitossanidade pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À CAPES pelo apoio financeiro na condução da pesquisa e pela bolsa de mestrado.

Aos pós-doutorandos Roberta Manica Berto, Carlos Eduardo Schaedler e Edinalvo Camargo pela revisão e auxílio na elaboração da dissertação.

Aos meus colegas de pós-graduação Ananda Scherner, Fábio Schreiber, Alfran Tellechea Martini, Diogo da Silva Moura, Diogo Balbé Helgueira, Marcos Garcia Marchezan, Mariah Marques, Karen Martins, Angela da Cas Bundt, Leonard Piveta, Luis Fernando Dias Martini e João Paulo Refatti, pelo convívio, amizade, companheirismo e auxílio na execução dos trabalhos.

Aos estagiários e bolsistas do laboratório de Dinâmica de Herbicidas no Ambiente: Andrey Pivetta, Luciano Cassol, Marlon Bastiani, Thaís Avila, Rodrigo

Pestana, Marcelo Zimmer, Igor Pacheco e Cleiton Brandão pela amizade e auxílio na execução dos experimentos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito do trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

CASSOL, Guilherme Vestena. **Práticas culturais associadas ao controle químico de capim-arroz e arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado**. 2013. 77f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O capim-arroz (*Echinochloa* spp.) e o arroz-vermelho (*Oryza sativa*) são consideradas as plantas daninhas de maior importância na cultura do arroz irrigado, em virtude do nível de infestação das áreas cultivadas, da dificuldade de controle e dos prejuízos causados na produtividade e na qualidade do produto final. O controle químico com o emprego de herbicidas tem sido o principal método utilizado para controle dessas espécies em lavouras de arroz. No entanto, devido ao aumento e disseminação dos casos de resistência de plantas daninhas à herbicidas, muitas vezes o controle dessas espécies tem sido insatisfatório. Nesse contexto, a associação de práticas culturais com o controle químico torna-se de fundamental importância para garantir a sustentabilidade dos programas de manejo de plantas daninhas, racionalizando o uso de herbicidas, além de reduzir a contaminação ambiental. Em vista do exposto, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a eficiência de herbicidas no controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente (Capítulo I); (ii) determinar a emergência de arroz-vermelho em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz (Capítulo II); (iii) avaliar a sensibilidade de biótipos de arroz-vermelho aos herbicidas glyphosate e glufosinate, além da resposta desses biótipos as imidazolinonas em diferentes épocas de semeadura (Capítulo III). Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que herbicidas com atividade residual como clomazone e a mistura formulada de imazapyr e imazapic, proporcionam controle eficiente (>95%) de capim-arroz, independente da época de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente. A eficiência dos herbicidas profoxydim e cyhalofop-butyl aumenta na semeadura de novembro. Para a associação de propanil com clomazone os maiores níveis de controle de capim-arroz são observados na semeadura de setembro. A presença de lâmina de água reduz a emergência de arroz-vermelho, no entanto, alguns biótipos possuem a habilidade de germinar e emergir mesmo sob lâmina de água de 10cm. O número de plântulas emergidas e a velocidade de emergência de arroz-vermelho aumentam nas semeaduras de novembro e dezembro. Herbicidas alternativos tais como glyphosate e glufosinate podem ser utilizados para controlar biótipos de arroz-vermelho com resistência as imidazolinonas. A sensibilidade de biótipos suscetíveis as

imidazolinonas é menor na semeadura de setembro, porém, para biótipos resistentes, a sensibilidade a estes herbicidas é semelhante entre as épocas de semeaduras avaliadas.

Palavras-chave: Época de semeadura. Herbicidas. Manejo da irrigação. Plantas Daninhas.

Abstract

CASSOL, Guilherme Vestena. **Cultural practices associated to chemical control of barnyardgrass and red rice in the irrigated rice crop.** 2013. 77f. Master of Science - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Barnyardgrass (*Echinochloa* spp.) and red rice (*Oryza sativa*) are considered the most important weeds in irrigated rice due to infestation level in cultivated areas, difficulties in control and interference on yield and quality of the final product. Chemical control using herbicides has been the primary method employed to control these species in rice fields. However, due to increasing and widespreading of weed-resistance to herbicides, often the control of these species has been unsatisfactory. In this context, the combination of cultural practices with chemical control becomes crucial for ensuring sustainability of the weed management programs by rationalizing herbicide use, and additionally by reducing environmental pollution. Therefore, the objectives of this work were: (i) evaluate herbicide efficiency on barnyardgrass control in two planting dates of rice under intermittent irrigation (Chapter I), (ii) to determine red rice emergence in response to planting dates and rice irrigation management (Chapter II), (iii) evaluate the sensitivity of the red rice biotypes to glyphosate and glufosinate, and the response of these biotypes to the imidazolinone at different planting dates (Chapter III). Based on the main results it can be concluded that herbicides with residual activity such as clomazone and formulated mixture of imazapyr and imazapic provide effective control (> 95%) of barnyardgrass, in despite of the rice planting date under intermittent irrigation management. Profoxydim and cyhalofop-butyl herbicide efficiency increase at november planting date. The highest weed control levels to tank mixtures of propanil plus clomazone are observed at September planting date. The presence of water layer reduces emergence of red rice, however, some biotypes have the ability to germinate and emerge even at 10-cm water depth. The emergence speed and seedlings number of red rice increase at november and december planting dates. Alternative herbicides such as glyphosate and glufosinate can be used to control red rice biotypes with resistance to imidazolinones. Sensitivity of the susceptible biotypes to imidazolinone is lower at september planting date, however, reistant biotype sensitivity to these herbicides is similar between planting dates evaluated.

Keywords: Planting date. Herbicides. Irrigation management. Weeds

Lista de Figuras

- Figura 1. Precipitação (barras) e temperatura média diária do ar (linhas) em duas épocas de semeadura do arroz irrigado conduzido sob manejo de irrigação intermitente. Capão do Leão, RS, 2012. (T_m) representa a temperatura média do ar no período que compreende 15 dias antes e após a aplicação dos herbicidas em pós-emergência. Dados de precipitação obtidos juntamente a Embrapa Clima Temperado - Estação Terras Baixas.....28
- Figura 2. Fitotoxicidade média dos herbicidas às plantas de arroz aos 07 e 14 dias após a aplicação em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente. Capão do Leão, RS, 2012. Letras diferentes na coluna diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ...33
- Figura 3. Temperatura média do ar e do solo no período de setembro a janeiro de 2011/12. Capão do Leão, RS, 2012.46
- Figure 4. Dose response curves for red rice control with imazapyr plus imazapic (A), glufosinate (B) and glyphosate (C) at 28 DAT. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at CT₅₀ values using overlapping of 95% confidence intervals.54
- Figure 5. Dose response curves for shoot dry weight of red rice plants treated with imazapyr plus imazapic (A), glufosinate (B) and glyphosate (C) at 28 DAT. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at GR₅₀ values using overlapping of 95% intervals.56
- Figure 6. Dose response curves for red rice control of IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes at september (A) and november (B) planting dates according to imazapyr + imazapic rate. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at CT₅₀ values using overlapping of 95% confidence intervals.59
- Figure 7. Shoot dry weight of IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes at september (A) and november (B) planting date according to herbicide rate. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at GR₅₀ values using overlapping of 95% intervals.61

Figure 8. Daily mean of air temperature during september and november planting date. Capão do Leão, RS, 2012. (▲) symbol represents the day of treatment applications for each planting date.....62

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Características físico-químicas do solo da área experimental (Planossolo Háplico eutrófico solódico). Capão do Leão, RS, 2012.....	23
Tabela 2.	Tratamentos herbicidas utilizados no experimento de campo. Capão do Leão, RS, 2012.....	23
Tabela 3.	Controle de capim-arroz em arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente aos 28 dias após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2012.....	26
Tabela 4.	Controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente aos 60 e 100 dias após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2012.	27
Tabela 5.	Estande inicial, número de panículas por metro quadrado e estatura final de plantas de arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função de tratamentos herbicidas e épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.....	30
Tabela 6.	Esterilidade de espiguetas, número de grãos por panícula e massa de mil grãos do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função de tratamentos herbicidas e épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.....	31
Tabela 7.	Produtividade de grãos de arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função do tratamento herbicida. Capão do Leão, RS, 2012.....	31
Tabela 8.	Vigor e porcentagem de germinação dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL. Capão do Leão, RS, 2012.....	39
Tabela 9.	Número de dias necessário para atingir a soma térmica acumulada de 260 ± 7 Graus-dia em função da época de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.....	40

Tabela 10. Porcentagem total de plântulas de arroz-vermelho emergidas em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz. Capão do Leão, RS, 2012.	41
Tabela 11. Porcentagem total de plântulas de arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL emergidas em função do biótipo/cultivar e época de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.	42
Tabela 12. Emergência acumulada dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL em função de épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.....	44
Tabela 13. Velocidade de emergência do arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL em função de épocas de semeadura e biótipos. Capão do Leão, RS, 2012.....	44
Table 14. Regression equation, CT ₅₀ and resistant to susceptible ratio (R/S) values for three herbicides and two biotypes in whole-plant bioassay estimated by log-logistic analysis. Capão do Leão, RS, 2012.	55
Table 15. Regression equation, GR ₅₀ and resistant to susceptible ratio (R/S) values for three herbicides and two biotypes in whole-plant bioassay estimated by log-logistic analysis. Capão do Leão, RS, 2012.	57
Table 16. Regression equation, CT ₅₀ and resistant to susceptible ratio (R/S) for red rice biotypes in two planting dates in response to imazapyr + imazapic application. Capão do Leão, RS, 2012.	58
Tabela 17. Regression equation, GR ₅₀ and R/S for IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes accordingly to the planting date. Capão do Leão, RS, 2012.....	62

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
2	CAPÍTULO I - Eficiência de herbicidas no controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente.....	20
2.1	Introdução.....	20
2.2	Material e Métodos	22
2.3	Resultados e Discussão	25
2.4	Conclusões	33
3	CAPÍTULO II - Emergência de arroz-vermelho em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz	35
3.1	Introdução.....	35
3.2	Material e Métodos	37
3.3	Resultados e Discussão	41
3.4	Conclusões	47
4	CAPÍTULO III - Sensitivity of two red rice biotypes to glyphosate and glufosinate and response to imidazolinone herbicides at different planting dates.....	48
4.1	Introduction	48
4.2	Material and Methods.....	50
4.3	Results and Discussion.....	53
4.4	Conclusions.....	63
5	CONCLUSÕES	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	Apêndices	73

VITA76

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o principal alimento para a maioria da população mundial, constituindo-se, juntamente com o trigo e o milho, nos alimentos mais produzidos no mundo. A produção deste cereal no Brasil é basicamente originária das lavouras irrigadas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os quais respondem por 66% da produção nacional (CONAB, 2012). No Rio Grande do Sul, o arroz irrigado ocupa área semeada superior a um milhão de hectares, produzindo cerca de oito milhões de toneladas anualmente. A produtividade média obtida no estado alcançou a marca de 7.441 kg ha⁻¹ na safra 2011/12 (IRGA, 2012).

Apesar dos incrementos obtidos nos últimos anos, esta produtividade está abaixo da alcançada pelas lavouras que adotam alto nível tecnológico e do potencial produtivo obtido nas áreas experimentais. Entre os fatores que contribuem para essa diferença, destaca-se o controle insatisfatório de plantas daninhas, principalmente o capim-arroz (*Echinochloa* spp) e o arroz-vermelho (*Oryza sativa*). Essas espécies encontram-se amplamente distribuídas, infestando praticamente todas as áreas orizícolas do estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Além disso, apresentam elevado índice de polimorfismo, estratégias de dispersão no tempo e no espaço, alta capacidade competitiva por recursos do meio e características morfofisiológicas semelhantes ao arroz cultivado, o que torna ainda mais complexo o emprego de medidas de controle.

Nesse contexto, o controle químico tem sido o principal método utilizado para controlar plantas daninhas em lavouras de arroz, por razões de custo, eficiência, praticidade e disponibilidade de mão-de-obra para realização das operações agrícolas. Para o controle de capim-arroz, existem atualmente vários herbicidas seletivos ao arroz irrigado registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os quais podem ser empregados em aplicações

de pré ou pós-emergência, de acordo com as recomendações de dose e estágio da planta daninha e da cultura. Porém, para o arroz-vermelho, a única possibilidade de controle seletivo baseia-se no emprego do sistema Clearfield®, o qual combina a utilização de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (não seletivos às cultivares convencionais) com genótipos tolerantes/resistentes aos mesmos.

Apesar dos benefícios mencionados anteriormente, a simplificação do sistema produtivo e consequente, intensificação no uso de métodos químicos como forma de controle, resultou no desenvolvimento de populações de capim-arroz e arroz-vermelho resistentes a herbicidas. De acordo com levantamentos realizados no Rio Grande do Sul, estima-se que mais de 50% das áreas cultivadas com arroz estejam infestadas com arroz-vermelho resistente às imidazolinonas (MENEZES et al., 2009). Situação semelhante foi verificada para a resistência de capim-arroz ao herbicida quinclorac, onde a detecção de biótipos resistentes ocorreu em praticamente todas as regiões amostradas (ANDRES et al., 2007).

Frente à disseminação e aumento dos casos de resistência, produtores e técnicos ligados à cadeia produtiva do arroz tem retomado a inclusão de métodos culturais nos programas de manejo de plantas daninhas. A adoção dessas medidas permite reduzir a pressão de seleção exercida pelos herbicidas sobre populações alvo, além de possibilitar o controle mecânico, físico ou biológico de biótipos resistentes. Dentre os métodos mais utilizados no RS estão a rotação de culturas, alternância de sistemas de cultivo, manejo da época de semeadura e da irrigação do arroz.

Outro aspecto relevante relacionado à atividade orizícola diz respeito ao impacto ambiental provocado pela lavoura de arroz. Pesquisas realizadas demonstram que na maioria das lavouras gaúchas, o principal método de irrigação utilizado apresenta baixa eficiência de uso da água, o que demanda grandes volumes deste recurso para o processo de irrigação. Além de menos eficiente, a manutenção contínua da lâmina de água sobre a superfície do solo pode potencializar os processos de dissipação de agrotóxicos, culminando com o transporte dos mesmos para fora da lavoura. Estudos de monitoramento tem constatado a presença de pelo menos um agrotóxico em bacias hidrográficas de regiões produtoras de arroz (GRUTZMACHER et al., 2008; SILVA et al., 2009; MARCHEZAN et al., 2010).

A crescente demanda mundial por alimentos associada à limitação dos recursos de produção requer a utilização racional dos mesmos a fim de garantir a sustentabilidade agrícola. Em diversas partes do mundo, a redução na disponibilidade de água para uso na agricultura tem gerado mudanças significativas no modelo de produção bem como a migração para outros cultivos ou até mesmo, o abandono de áreas anteriormente produtivas. Diante dessas circunstâncias, torna-se de fundamental importância a busca por alternativas de manejo que possam reduzir os impactos ocasionados pelo cultivo do arroz além de garantir com segurança, a rentabilidade ao produtor rural.

Nesse sentido, a associação de práticas culturais com métodos químicos de controle de plantas daninhas poderá permitir não somente a redução do volume de água aplicado na lavoura orizícola, mas também a racionalização no uso de herbicidas, garantindo a sustentabilidade da cadeia produtiva do arroz. Em vista do exposto, este trabalho tem como objetivos gerais (i) avaliar a eficiência de herbicidas no controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente (Capítulo I); (ii) determinar a emergência de arroz-vermelho em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz (Capítulo II); (iii) avaliar a sensibilidade de biótipos de arroz-vermelho aos herbicidas glyphosate e glufosinate, além da resposta desses biótipos às imidazolinonas em diferentes épocas de semeadura (Capítulo III).

2 CAPÍTULO I - Eficiência de herbicidas no controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente

2.1 Introdução

A produção de arroz no Brasil é originária, principalmente, das lavouras irrigadas do RS e SC, as quais compreendem cerca de 66% da produção nacional (CONAB, 2012). Apesar de produtividade superior no sistema irrigado, a lavoura de arroz tem sido apontada como atividade de alto impacto ambiental em decorrência da baixa eficiência do uso da água no processo de irrigação, podendo o volume utilizado variar de 5.374 m³ ha⁻¹ (MACHADO et al., 2006) a 11.173 m³ ha⁻¹ (TOESCHER; RIGHES; CARLESSO, 1997), de acordo com o sistema de cultivo e as condições edafoclimáticas locais.

Dentre as estratégias para a redução do uso de água na cultura do arroz irrigado, destaca-se o manejo de irrigação intermitente. A intermitência é caracterizada pela reposição da lâmina de água após a evapotranspiração da lâmina aplicada anteriormente. Ao se utilizar a irrigação intermitente, maximiza-se a economia no uso de água devido a menores perdas por escoamento superficial e maior capacidade de armazenamento da água da chuva (WATANABE et al., 2007). Trabalhos com a utilização do manejo intermitente têm demonstrado potencial de reduzir de 22 a 60% o volume de água aplicado na lavoura arrozeira sem ocasionar perdas significativas na produtividade de grãos (TOESCHER; RIGHES; CARLESSO, 1997; BOUMAN; TUONG, 2000).

Por outro lado, a ausência de lâmina de água contínua sobre a superfície do solo pode viabilizar fluxos de emergência de plantas daninhas, reinfestando a área e

dessa forma, reduzindo a produtividade de grãos do arroz (SMITH; FOX, 1973; ANDRES et al., 2007). Entre as plantas daninhas das lavouras de arroz do Rio Grande do Sul, destaca-se o capim-arroz (*Echinochloa* spp.), o qual apresenta tolerância ao ambiente inundado, ampla distribuição nas lavouras cultivadas e altos níveis de infestação (ANDRES et al., 2007; AGOSTINETTO et al., 2010). Outro aspecto importante dessa planta daninha diz respeito ao desenvolvimento da resistência tanto cruzada quanto múltipla a vários herbicidas recomendados para seu controle (ANDRES et al., 2007; CONCENÇO et al., 2008; GALON et al., 2009).

Devido às semelhanças morfofisiológicas com o arroz, o capim-arroz explora basicamente o mesmo nicho ecológico da cultura, competindo por recursos similares no tempo e/ou espaço (AGOSTINETTO et al., 2008). Em alguns casos, mesmo em baixas populações, medidas de controle que eliminem até 99% da infestação podem não ser suficientes para evitar perdas de produtividade na cultura (AGOSTINETTO et al., 2007; PINTO et al., 2008). A ocorrência de uma planta de capim-arroz m^{-2} pode reduzir a produtividade de grãos entre 5 e 30%, em função da cultivar semeada e da época de entrada de água na lavoura (GALON et al., 2007; AGOSTINETTO et al., 2007).

A viabilidade do manejo de irrigação intermitente no RS está condicionada a necessidade de aplicações sucessivas de herbicidas ou o uso de moléculas com atividade residual prolongada no solo, o que pode incrementar o transporte dos mesmos para fora da lavoura, potencializando o risco de contaminação ambiental (MARTINI et al., 2011). Portanto, a associação de práticas culturais com o método químico poderia maximizar a eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas em condições de intermitência.

Dentre essas práticas, a época de semeadura pode ser explorada como ferramenta importante para atingir esse objetivo. No Rio Grande do Sul, o período recomendado para a semeadura do arroz varia com o ciclo da cultivar e a região de cultivo, iniciando no final de setembro e estendendo-se até meados de novembro (SOSBAI, 2010). Nesse contexto, semeaduras realizadas no final de setembro poderiam maximizar a captação de água proveniente das precipitações, uma vez que os maiores volumes médios de chuva no estado concentram-se no trimestre setembro-outubro-novembro. Essa adequação possibilitaria reduzir os ciclos de intermitência, proporcionando maior tempo de manutenção da lâmina de água na lavoura. O efeito positivo da manutenção da lâmina de água sobre o controle de

plantas daninhas tem sido enfatizado por vários autores, como Balbinot Jr. et al. (2003), Concenção et al. (2006) e Machado et al. (2006), os quais ressaltam a ação da mesma em termos de barreira física sobre a superfície do solo e a redução do oxigênio disponível, impedindo o crescimento e desenvolvimento de espécies daninhas.

Além disso, trabalhos demonstraram que a taxa de emergência de capim-arroz e arroz-vermelho é menor no início do período recomendado para a semeadura do arroz, em virtude das baixas temperaturas do ar e do solo (SHIVRAIN et al., 2009; BAVAGATHIANNAN et al., 2011). Como consequência, a interferência provocada pelas plantas daninhas quando a cultura é semeada no início do período também é menor, sendo as perdas de produtividade potencializadas à medida que a semeadura é realizada no final ou fora da época recomendada (SHIVRAIN et al., 2009).

Nesse sentido, o conhecimento das interações entre época de semeadura e eficiência de herbicidas no manejo de irrigação intermitente poderá permitir não somente a redução do volume de água aplicado na lavoura orizícola, mas também a racionalização no uso de herbicidas, garantindo a sustentabilidade da cadeia produtiva do arroz. Em vista do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de herbicidas no controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente.

2.2 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em campo, em área sistematizada, no Centro Agropecuário da Palma (CAP) pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no ano agrícola 2011/12. O solo do local é classificado como Planossolo Háplico eutrófico solódico, unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2012). As características físico-químicas do solo em que o experimento foi realizado encontram-se na tab. 1.

Tabela 1. Características físico-químicas do solo da área experimental (Planossolo Háplico eutrófico solódico). Capão do Leão, RS, 2012.

pH _{água}	Argila	M.O	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio
(1:1)	(%)		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³	
5,2	16	1,3	6,7	43	4,3	2,0	0,1

O experimento foi conduzido utilizando-se delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (2x8) com quatro repetições. O fator A foi composto por duas épocas de semeadura, as quais foram definidas com base no zoneamento agroclimático para o cultivo do arroz no Estado do Rio Grande do Sul (SOSBAI, 2010). A primeira época de semeadura foi implantada dia 28 de setembro (início do período recomendado) e a segunda época dia 01 de novembro (final do período recomendado). O fator B foi constituído por oito tratamentos, sendo seis tratamentos herbicidas, além de uma testemunha infestada e uma testemunha com capina manual (tab. 2).

Tabela 2. Tratamentos herbicidas utilizados no experimento de campo. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Dose
	(g i.a. ha ⁻¹)
testemunha infestada	---
testemunha capinada	---
clomazone ¹	612
profoxydim ²	130
propanil ²	2970
propanil+clomazone ²	2970 + 288
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5
cyhalofop-butyl ²	400

¹ Pré-emergência, após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

* clomazone (Gमित[®] 360 CS); profoxydim (Aura[®] 200); propanil (Grassmax[®]); imazapyr+imazapic (Kifix[®]); cyhalofop-butyl (Clincher[®]).

As unidades experimentais foram compostas por nove linhas de semeadura espaçadas em 17cm por cinco metros de comprimento. O preparo de solo foi realizado no sistema de cultivo convencional. A cultivar de arroz irrigado utilizada foi a Puitá INTA CL na densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes. As sementes foram previamente tratadas com o inseticida fipronil na dose de 37,5g i.a. por 100kg de sementes, para o controle preventivo da bicheira-da-raiz

(*Oryzophagus oryzae*). Para o tratamento herbicida clomazone, as sementes foram tratadas com o *safener* dietholate (Permit Star®) na dose de 600ml de produto comercial por 100kg de semente. A adubação de base foi realizada com 300kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-30, correspondendo a 15kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada com uréia 46-00-00 em dois estádios da cultura, o primeiro, no início do perfilhamento com 80kg ha⁻¹ de N e o segundo, na iniciação do primórdio floral com 50kg ha⁻¹ de N. Os demais tratos culturais foram efetuados conforme as recomendações técnicas da pesquisa para o cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2010).

A área experimental possuía infestação natural de capim-arroz, sendo a população média na primeira e segunda época de semeadura de 700 e 1.000 plantas m⁻², respectivamente. Antes da instalação de cada época de semeadura, realizou-se a dessecação da área com a aplicação do herbicida glyphosate na dose de 1440g e.a. ha⁻¹. Os tratamentos herbicidas foram aplicados em pré (um dia após a semeadura) e pós-emergência do arroz irrigado (3 a 4 folhas), seguindo as recomendações de utilização do fabricante. Na aplicação de pós-emergência as plantas de capim-arroz encontravam-se predominantemente com 3-4 folhas (primeira época) e 4 folhas a um perfilho (segunda época) (Apêndice A). A aplicação foi realizada com auxílio de um pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, equipado com barra de quatro pontas de jato plano em leque, série 110-02, espaçadas 50cm, calibrado para aplicar um volume de calda de 150L ha⁻¹. Logo após a realização da aplicação dos tratamentos herbicidas, efetuou-se a primeira adubação de cobertura, na forma de uréia.

O manejo intermitente foi estabelecido imediatamente após a aplicação dos herbicidas em pós-emergência e do nitrogênio com uma lâmina de água inicial de 10cm de altura. Com o objetivo de simular a condição de irrigação de grandes lavouras, a reposição da lâmina de água foi efetuada no momento em que a lâmina anterior atingiu o nível de 1cm (Apêndice B). No interior dos quadros, foram instaladas réguas para permitir o monitoramento da altura da lâmina de água. A temperatura do ar, do solo e umidade relativa do ar foram monitoradas durante todo o período de condução do experimento a cada 15 minutos com o auxílio de datta loggers (HoboTemp Pro®).

Avaliou-se o controle de capim-arroz aos 28, 60 e 100 dias após a aplicação dos herbicidas (DAH) e a fitotoxicidade dos mesmos às plantas de arroz aos 07 e

14DAH. Ambas as avaliações foram realizadas visualmente, através da atribuição de notas baseadas na escala de 0 a 100%, onde 0 corresponde a ausência de controle ou de sintomas de fitotoxicidade e 100% corresponde ao controle total das plantas de capim-arroz ou morte das plantas de arroz em decorrência da toxicidade herbicida (FRANS; CROWLEY, 1986).

O estande inicial foi determinado aos 14 dias após a emergência (DAE), através da contagem do número de plantas em um metro da linha de semeadura. Neste local, determinou-se o número de panículas por metro quadrado e através da coleta de 10 panículas em sequência na linha de semeadura, determinou-se o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos. A estatura final de plantas foi determinada antes da colheita, medindo-se 10 plantas em sequência na linha, contabilizando o intervalo entre a superfície do solo e o ápice da panícula das plantas de arroz.

Para avaliar a produtividade de grãos, foi realizada colheita manual da área útil de cada parcela ($4,76 \text{ m}^2$), quando os grãos atingiram umidade média de 22%. Este material foi submetido à trilha, pesagem e determinação da umidade de colheita dos grãos, sendo esta última corrigida para 13%, para estimativa da produtividade. Foram separadas amostras de 500g de cada parcela, nas quais determinaram-se o teor de impurezas. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem, com temperatura de 40°C . De cada amostra, retirou-se 100 g de arroz com casca para fazer o beneficiamento em processador de amostras (engenho de provas), obtendo-se, então, a porcentagem de grãos inteiros.

Os dados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância (independência, normalidade e homocedasticidade da variância) transformando-se quando necessários e então, submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). O teste de Tukey ($p \leq 0,05$) foi utilizado para comparação das médias entre os tratamentos herbicidas e o teste t ($p \leq 0,05$) para a comparação das médias entre as épocas de semeadura.

2.3 Resultados e Discussão

Para a variável controle de capim-arroz, os dados referentes aos tratamentos testemunha infestada e testemunha capinada não foram considerados na análise, pois os mesmos serviram apenas como referências para a realização

das avaliações de controle e fitotoxicidade dos herbicidas às plantas de arroz. Houve diferença significativa entre herbicidas para a avaliação de controle de capim-arroz aos 28 DAH (tab. 3). Os tratamentos com clomazone, cyhalofop-butyl e a mistura formulada de imazapyr e imazapic (52,5 e 17,5g. i.a L⁻¹, respectivamente) proporcionaram níveis de controle superiores a 90% aos 28 DAH, independentemente da época de semeadura do arroz irrigado.

Tabela 3. Controle de capim-arroz em arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente aos 28 dias após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Dose	Controle de capim-arroz (%)
	(g i.a. ha ⁻¹)	28 DAH ³
clomazone ¹	612	97 a ⁴
profoxydim ²	130	80 ab
propanil ²	2970	47 c
propanil+clomazone ²	2970 + 288	67 b
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	98 a
cyhalofop-butyl ²	400	90 a

¹ Pré-emergência, um dia após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

³ Dias após a aplicação dos herbicidas.

⁴ Médias com letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).

Para as avaliações aos 60 e 100 DAH, houve interação entre época de semeadura e tratamento herbicida (tab. 4). Aumento nos níveis de controle de capim-arroz foram verificados para profoxydim e cyhalofop-butyl, quando a semeadura do arroz foi realizada em novembro. A diferença observada entre as épocas de semeadura para esses herbicidas pode estar relacionada ao incremento da temperatura na semeadura de novembro (Fig. 1), o qual pode ter potencializado os processos de absorção, translocação e metabolismo dos mesmos, resultando em maior atividade sobre as plantas daninhas. Resultados semelhantes foram observados para o herbicida bispyribac-sodium, onde o controle de *Poa annua* foi incrementado à medida que a temperatura do ar aumentou de 20 para 30 °C (MCCULLOUGH; HART, 2006).

Tabela 4. Controle de capim-arroz em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente aos 60 e 100 dias após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Controle de capim-arroz (%)		
	Dose	60 DAH ³	
	(g i.a. ha ⁻¹)	setembro	novembro
clomazone ¹	612	98 A ⁵ a ⁴	94 Aab
profoxydim ²	130	59 Bbc	72 Ab
propanil ²	2970	35 Ac	21 Ac
propanil+clomazone ²	2970 + 288	75 Aab	41 Bc
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	100 Aa	99 Aa
cyhalofop-butyl ²	400	84 Bab	95 Aab

Herbicida	Controle de capim-arroz (%)		
	Dose	100 DAH	
	(g i.a. ha ⁻¹)	setembro	novembro
clomazone ¹	612	96 Aa	100 Aa
profoxydim ²	130	59 Abc	69 Ab
propanil ²	2970	29 Ac	8 Ad
propanil+clomazone ²	2970 + 288	71 Aab	32 Ac
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	100 Aa	100 Aa
cyhalofop-butyl ²	400	82 Bab	97 Aa

¹ Pré-emergência, após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

³ Dias após a aplicação dos herbicidas.

⁴ Médias com letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).

⁵ Médias com letras maiúsculas distintas na linha diferem pelo teste "t" de student (p≤0,05).

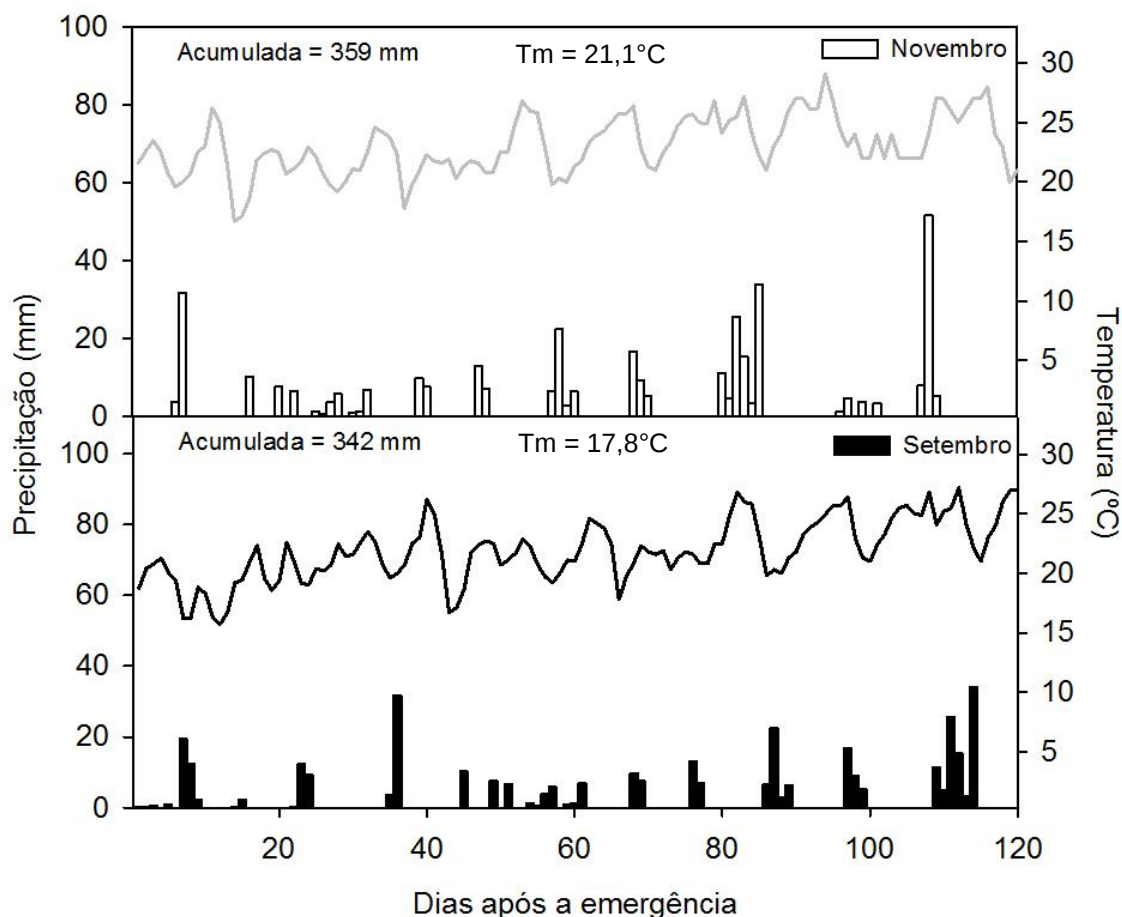


Figura 1. Precipitação (barras) e temperatura média diária do ar (linhas) em duas épocas de semeadura do arroz irrigado conduzido sob manejo de irrigação intermitente. Capão do Leão, RS, 2012. (Tm) representa a temperatura média do ar no período que compreende 15 dias antes e após a aplicação dos herbicidas em pós-emergência. Dados de precipitação obtidos juntamente a Embrapa Clima Temperado - Estação Terras Baixas.

O herbicida propanil e a associação de propanil e clomazone apresentaram os menores níveis de controle aos 60 e 100 DAH, principalmente na semeadura de novembro. A menor eficiência de controle desses herbicidas pode estar relacionada ao estágio de desenvolvimento das plantas de capim-arroz no momento da aplicação, as quais se encontravam com 4 folhas a um perfilho. De acordo com trabalho realizado por Crawford e Jordan (1995) o herbicida propanil é eficiente no controle de capim-arroz até o estágio de 3 folhas. A partir deste estágio a associação com outros herbicidas torna-se importante para garantir o controle dessa planta daninha.

A ausência de ação residual do propanil juntamente com os ciclos de intermitência da lâmina de água pode ter possibilitado a emergência de novos fluxos de capim-arroz durante o ciclo da cultura. Estudos realizados em países asiáticos,

os quais utilizam preferencialmente o manejo intermitente em virtude da escassez de água para agricultura, têm constatado a emergência de *Echinochloa* spp. e *Leptochloa chinensis* em períodos em que a lâmina de água encontra-se baixa ou próxima a saturação do solo (SINGH et al., 2006; CHAUHAN; JOHNSON, 2009).

Níveis de controle de capim-arroz acima de 94% foram observados apenas para os tratamentos clomazone e a mistura formulada de imazapyr e imazapic. Ao contrário dos demais herbicidas analisados no estudo, essas moléculas possuem atividade residual no solo, o que impede por determinado período de tempo, a germinação e emergência de novas plantas daninhas. Corroborando com esses resultados, Masson et al. (2001) verificaram que a atividade residual de imazethapyr proporcionou controle de capim-arroz acima de 90% independente da altura de lâmina de água utilizada. Devido a essa característica, clomazone e imazethapyr têm sido amplamente utilizados em associação ou de forma isolada para controle de espécies daninhas em lavouras de arroz irrigado, cultivadas em microcamalhões nos Estados Unidos (NORSWORTHY; GRIFFITH; SCOTT, 2008; BAVAGATHIANNAN et al., 2011).

De acordo com a análise de variância, não houve interação entre época de semeadura e tratamento herbicida para estande inicial e os demais componentes de rendimento avaliados. Porém, observou-se efeito significativo de herbicidas para as variáveis, estatura final de plantas, número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula, massa de mil grãos, percentagem de espiguetas estéreis e produtividade de grãos (tab. 5, 6 e 7). De modo geral, os tratamentos herbicidas que foram mais eficientes no controle de capim-arroz proporcionaram maior número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panículas e consequentemente, maior produtividade de grãos de arroz.

Tabela 5. Estande inicial, número de panículas por metro quadrado e estatura final de plantas de arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função de tratamentos herbicidas e épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Dose	Estande inicial	Panículas	Estatura
	(g i.a. ha ⁻¹)	(plantas m ⁻²)	(nº m ⁻²)	(cm)
testemunha infestada	---	220 a	129 d ⁴	73 b
testemunha capinada	---	249 a	454 ab	83 a
clomazone ¹	612	296 a	484 ab	81 a
profoxydim ²	130	230 a	372 bc	82 a
propanil ²	2970	289 a	257 cd	79 ab
propanil+clomazone ²	2970 + 288	269 a	288 c	79 ab
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	253 a	510 a	82 a
cyhalofop-butyl ²	400	276 a	453 ab	82 a
setembro		265 ^{ns3}	341 b	75 b
novembro		256	395 a	85 a
Média		260	368	80
CV (%)		18,63	22,33	6,29

¹ Pré-emergência, após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

³ Não significativo ($p \geq 0,05$).

⁴ Médias com letras distintas na coluna diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 6. Esterilidade de espiguetas, número de grãos por panícula e massa de mil grãos do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função de tratamentos herbicidas e épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Dose	Esterilidade	Grãos panícula	Massa de mil grãos
	(g i.a. ha ⁻¹)	(%)	(nº)	(g)
testemunha infestada	---	38 a	60 b ⁴	22,2 b
testemunha capinada	---	16 b	101 a	24,7 a
clomazone ¹	612	14 b	122 a	24,1 ab
profoxydim ²	130	18 b	95 ab	23,8 ab
propanil ²	2970	28 ab	95 ab	23,7 ab
propanil+clomazone ²	2970 + 288	17 b	108 a	23,3 ab
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	13 b	104 a	24,1 ab
cyhalofop-butyl ²	400	20 b	106 a	24,9 a
setembro		22 ^{ns3}	96 ^{ns}	24,2 ^{ns}
novembro		20	101	23,5
Média		21	98	23,7
CV (%)		20,87	23,22	5,57

¹ Pré-emergência, após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

³ Não significativo (p≥0,05).

⁴ Médias com letras distintas na coluna diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).

Tabela 7. Produtividade de grãos de arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente em função do tratamento herbicida. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicida	Dose	Produtividade de grãos
	(g i.a. ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
testemunha infestada	---	1.795 e ⁴
testemunha capinada	---	7.987 ab
clomazone ¹	612	8.639 a
profoxydim ²	130	6.370 bc
propanil ²	2970	3.395 de
propanil+clomazone ²	2970 + 288	5.204 cd
imazapyr+imazapic ²	73,5 + 24,5	9.102 a
cyhalofop-butyl ²	400	7.599 ab
Média		6.252
CV (%)		20,57

¹ Pré-emergência, um dia após a semeadura do arroz irrigado.

² Pós-emergência, plantas de arroz com 3 a 4 folhas.

³ Não significativo (p≥0,05).

⁴ Médias com letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste Tukey (p≤0,05).

As maiores produtividades foram obtidas com a aplicação dos herbicidas imazethapyr e imazapic, clomazone e cyhalofop-butyl, 9.102, 8.639 e 7.599 kg ha⁻¹, respectivamente, os quais não diferiram estatisticamente do tratamento testemunha capinada, 7.987 kg ha⁻¹. Entretanto, os herbicidas profoxydim e a associação de propanil e clomazone, os quais proporcionaram níveis de controle de 60 a 70% aos 100 DAH, produziram cerca de 40 a 45% menos em relação ao tratamento imazethapyr e imazapic. Esses resultados evidenciam que o capim-arroz é altamente competitivo com a cultura do arroz. Dessa forma, medidas de controle que eliminem até 99% da infestação podem não ser suficientes para evitar perdas de produtividade (AGOSTINETTO et al., 2007; PINTO et al., 2008). A ocorrência de uma planta de capim-arroz m⁻² pode reduzir a produtividade de 5 a 30%, em função da cultivar semeada e da época de entrada de água na lavoura (GALON et al., 2007; AGOSTINETTO et al., 2007).

Houve diferença significativa entre as épocas de semeadura para estatura final de plantas, número de panículas por metro quadrado e fitotoxicidade dos herbicidas. A semeadura realizada no final do mês de setembro proporcionou maior fitotoxicidade dos herbicidas às plantas de arroz aos 07 e 14 DAH (Fig. 2). A aplicação de herbicidas em condições de temperaturas mais baixas pode ocasionar distúrbios bioquímicos e fisiológicos no metabolismo das plantas reduzindo a seletividade do herbicida, o que afeta negativamente seu desenvolvimento e consequentemente a produtividade de grãos (SONG et al., 2007). Esse aumento nos níveis de fitotoxicidade podem explicar as reduções na estatura de plantas e no número final de panículas quando o arroz foi semeado em setembro.

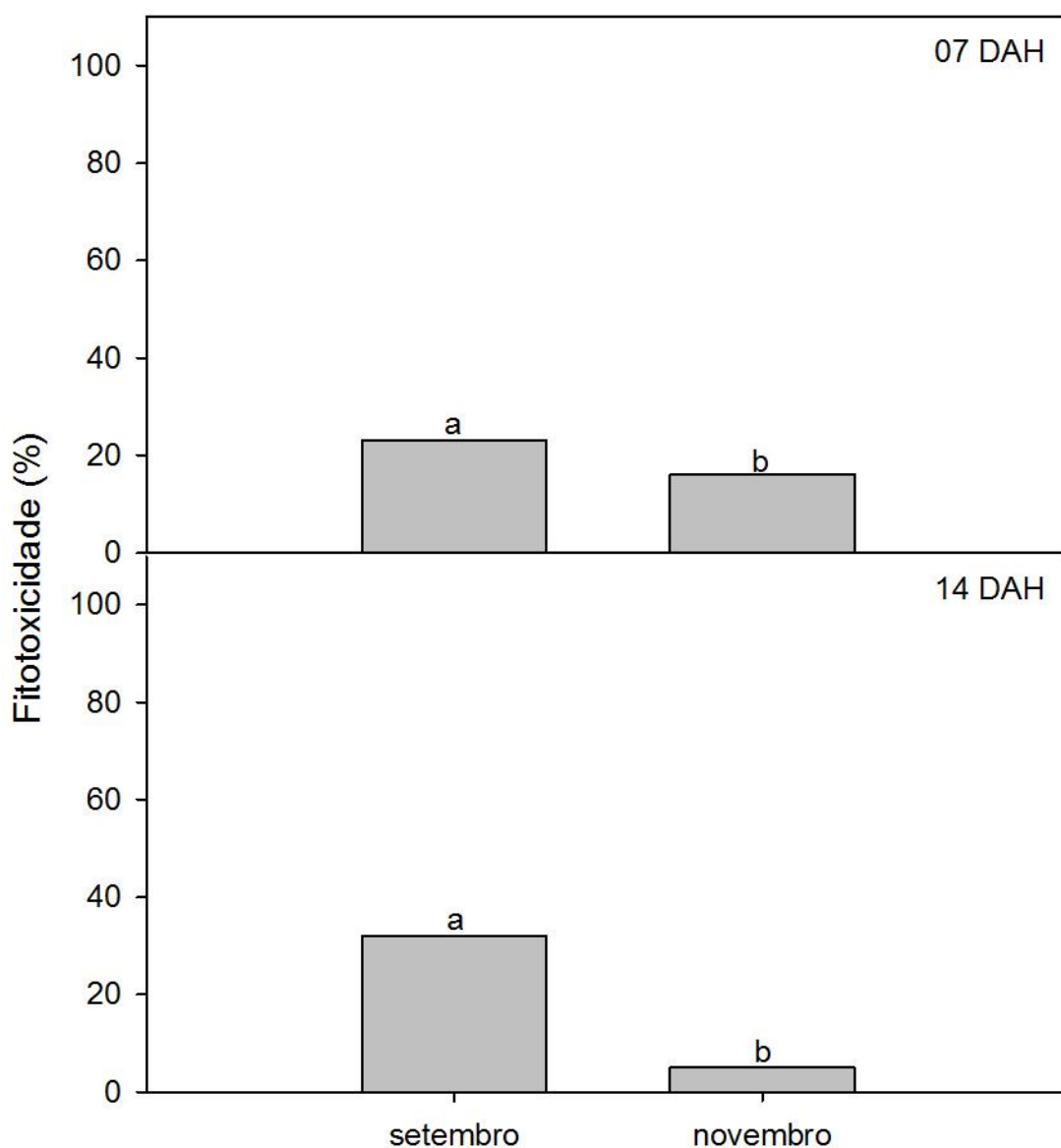


Figura 2. Fitotoxidade média dos herbicidas às plantas de arroz aos 07 e 14 dias após a aplicação em duas épocas de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente. Capão do Leão, RS, 2012. Letras diferentes na coluna diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

2.4 Conclusões

A utilização de herbicidas residuais como clomazone e a mistura formulada de imazapyr e imazapic, proporcionam controle eficiente (>95%) de capim-arroz, independente da época de semeadura do arroz irrigado sob manejo de irrigação intermitente.

A semeadura do arroz no mês de setembro aumenta a eficiência dos herbicidas profoxydim e cyhalofop-butyl, porém causa redução na associação de propanil com clomazone.

A aplicação de herbicidas em semeaduras no início do período recomendado (final de setembro) ocasiona maiores níveis de fitotoxicidade às plantas de arroz, no entanto, não há redução na produtividade de grãos.

A eficiência de controle de capim-arroz é positivamente relacionada com os componentes de rendimento e a produtividade de grãos do arroz irrigado.

3 CAPÍTULO II - Emergência de arroz-vermelho em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz

3.1 Introdução

O arroz-vermelho é considerado a principal planta daninha da orizicultura do Sul do Brasil, devido ao elevado grau de dificuldade para seu controle, à disseminação generalizada e aos prejuízos que causa na produção e na qualidade do produto comercial (EBERHARDT; SILVA; RIEFFEL NETO, 1999). A presença de uma planta de arroz-vermelho por m² pode reduzir de 2 a 5% a produtividade de grãos de arroz (DIARRA; SMITH JR; TALBERT, 1985; ESTORNINOS JR et al., 2005), dependendo das condições edafoclimáticas, características da cultivar, período de convivência e biótipo encontrado na área (AGOSTINETTO et al., 2000).

Botanicamente, o arroz-vermelho pertence ao mesmo gênero do arroz cultivado (VAUGHAN et al., 2001). No entanto, geralmente possui maior estatura, capacidade de afilhamento e produção de biomassa do que as cultivares de arroz (SCHAWKE et al., 2008; ESTORINOS JR et al., 2005). Além disso, também é mais eficiente no uso do nitrogênio sobre condições competitivas, absorvendo 60% do N aplicado a cultura (BURGOS et al., 2006). Estimativas indicam que as perdas diretas decorrentes da competição com o arroz-vermelho possam atingir 20% da produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul (MARCHEZAN, 1994).

Devido às semelhanças morfofisiológicas entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado, o controle através do uso de herbicidas tradicionais seletivos a cultura torna-se difícil (FLOGLIATTO; VIDOTTO; FERRERO, 2011). A introdução do sistema de produção Clearfield®, na safra 2004/05, proporcionou uma estratégia de manejo eficaz no controle de plantas daninhas, pelo uso de genótipos

tolerantes/resistentes aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (SANTOS et al., 2007). Por outro lado, o uso consecutivo e indiscriminado da tecnologia causou o surgimento, em poucos anos, de populações de arroz-vermelho resistentes a esses herbicidas (MENEZES et al., 2009).

Devido à resistência do arroz-vermelho às imidazolinonas, seu controle foi reduzido significativamente em algumas áreas. Nesse sentido, práticas culturais que foram abandonadas por muitos produtores após o lançamento da tecnologia têm sido reutilizadas com a finalidade de minimizar as perdas provocadas pela interferência dessa planta daninha. Entre essas práticas, as mais empregadas são o sistema de cultivo pré-germinado, onde a semeadura do arroz é realizada em solo submerso com lâmina de água de 10 a 15cm (AVILA et al., 2000; LEON et al., 2008) e a rotação de culturas (ANDRES et al., 2001; BURGOS et al., 2008).

Outro método que visa diminuir a interferência dessa planta daninha é a antecipação da época de semeadura do arroz, tendo como objetivo, reduzir o número de plantas de arroz-vermelho emergidas através do menor revolvimento do solo no período propício à sua emergência (AGOSTINETTO et al., 2000). Trabalhos realizados demonstram que a taxa de emergência do arroz-vermelho é menor no início do período recomendado para a semeadura do arroz, em virtude das baixas temperaturas do ar e do solo (GEALY; SALDAIN; TALBERT, 2000; SHIVRAIN et al., 2009). Como consequência, a interferência provocada pelo arroz-vermelho na cultura também é menor, sendo as perdas de produtividade potencializadas à medida que o arroz é semeado no final ou fora do período recomendado (SHIVRAIN et al., 2009).

No Rio Grande do Sul, o período recomendado para a semeadura do arroz varia com o ciclo da cultivar e a região de cultivo, iniciando no final de setembro e estendendo-se até meados de novembro (SOSBAI, 2010). Pesquisas demonstram que semeaduras realizadas no final de setembro ou início de outubro proporcionam aumentos significativos na produtividade de grãos (MARIOT et al., 2009), em virtude de maior eficiência no uso do nitrogênio (FREITAS et al., 2008) e menor risco de exposição a baixas temperaturas do ar durante a fase reprodutiva (MENEZES et al., 2004). Porém, o efeito dessa prática de manejo sobre a emergência de arroz-vermelho ainda é pouco explorado em âmbito nacional e regional, sendo as informações existentes na literatura provenientes de apenas uma época de semeadura (BALBINOT JR et al., 2003; AGOSTINETTO et al., 2004).

Além da antecipação da semeadura, a manutenção da lâmina contínua de água na lavoura é considerada uma medida complementar para o controle de arroz-vermelho (MARCHESAN, 1994; AVILA et al., 2000; LEON et al., 2008). O sucesso dessa prática baseia-se na supressão da emergência do arroz-vermelho pela ação física da lâmina de água reduzindo o conteúdo de oxigênio disponível para o processo de germinação (CAUHAN, 2012). O efeito positivo da manutenção da lâmina de água sobre o controle de plantas daninhas tem sido enfatizado por vários autores, como Balbinot Jr. et al. (2003), Concenço et al. (2006) e Machado et al. (2006).

Por outro lado, o manejo de irrigação com lâmina contínua requer a utilização de maior volume de água durante o cultivo do arroz (MACHADO et al., 2006; MARTINI et al., 2012). Nesse contexto, a irrigação intermitente tem sido adotada por parte dos produtores em virtude da economia no uso de água, redução das perdas por escoamento superficial e maior capacidade de armazenamento da água da chuva (WATANABE et al., 2007; MARTINI et al., 2012). Apesar da redução no volume de água utilizado, os ciclos sucessivos de intermitência podem permitir a entrada de oxigênio no sistema e dessa forma, possibilitar novos fluxos de emergência de arroz-vermelho. Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a emergência de biótipos de arroz-vermelho em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz.

3.2 Material e Métodos

Para atingir o objetivo proposto, dois experimentos foram conduzidos em ambiente aberto na Universidade Federal de Pelotas, durante o ano agrícola 2011/12. Em ambos os estudos, as unidades experimentais foram compostas por bandejas plásticas com capacidade volumétrica de 28 litros (60 x 40 x 15 cm, comprimento, largura, profundidade), preenchidas com 12 quilos de solo seco, destorroado e peneirado, coletado de uma camada de cinco centímetros do horizonte A de um Planossolo Háplico eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2006). As características físico-químicas do solo utilizado nos experimentos encontram-se na tab. 1 (Capítulo I).

O experimento 1 foi conduzido utilizando-se delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (4x2x5) com quatro repetições. O fator A foi

composto por quatro épocas de semeadura (setembro, outubro, novembro e dezembro). O fator B foi constituído por dois manejos de irrigação do arroz irrigado (contínuo e intermitente) e o fator C, composto por quatro biótipos de arroz-vermelho (SC 608; ITJ 88; ITJ 20 e UFRGS), além da cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL.

O experimento 2 foi realizado seguindo as condições descritas anteriormente, porém com uma alteração no esquema fatorial (4x5), utilizando-se apenas épocas de semeadura e biótipos de arroz-vermelho como fatores. Neste experimento, o nível de umidade do solo foi monitorado diariamente e mantido próximo à capacidade de campo.

A semeadura do arroz-vermelho foi realizada na primeira semana de cada mês constituindo-se as mesmas épocas de semeadura para os dois experimentos. No experimento 1, o manejo de irrigação contínuo caracterizou-se pela manutenção de lâmina de água a 10cm de altura durante todo o período de avaliação de cada época de semeadura. Para o manejo intermitente, a reposição da lâmina de água foi efetuada quando a lâmina anterior atingiu a altura de 1cm (Apêndice C). Os biótipos com prefixo SC e ITJ foram originários do Sul de Santa Catarina e selecionados devido à possibilidade de emergência sob lâmina de água. O biótipo UFRGS foi coletado em lavouras do RS. A cultivar Puitá INTA CL foi empregada nos experimentos em virtude da ampla utilização na orizicultura gaúcha, adotando-se como referência para comparação da emergência dos biótipos de arroz-vermelho.

Para cada biótipo realizou-se teste prévio de germinação e vigor das sementes (tab. 8). O teste de germinação foi executado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com quatro repetições de 50 sementes por amostra, semeadas em rolos de papel germitest, mantidos em germinador com temperatura constante de 25°C, por 14 dias. O vigor das sementes foi estimado pelo teste de primeira contagem da germinação, contabilizando-se a porcentagem de plântulas normais no quinto dia. Desse modo, os biótipos foram classificados de acordo com a seguinte escala de vigor: vigor muito alto (>90%); vigor alto (81-90%); vigor médio (71-80%); vigor baixo (61-70%) e vigor muito baixo (<60%).

Tabela 8. Vigor e porcentagem de germinação dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL. Capão do Leão, RS, 2012.

Biótipo/Cultivar	Vigor (%)	Germinação (%)
IJT20	61 (baixo)*	68
ITJ88	33 (muito baixo)	39
SC608	74 (médio)	78
UFRGS	88 (alto)	92
Puitá	78 (médio)	79

* Classificação de acordo com a escala de vigor.

Os biótipos de arroz-vermelho e a cultivar Puitá INTA CL foram semeados em caixas plásticas com espaçamento de 12cm entre linhas de semeadura. O número de sementes colocadas por linha foi ajustado para cada biótipo de acordo com seu poder germinativo, objetivando-se o estabelecimento de 20 plantas por linha. A profundidade de semeadura foi de dois centímetros. As recomendações de adubação e calagem foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa para o cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2010). Para o experimento com manejos de irrigação, os mesmos foram estabelecidos logo após a semeadura.

A temperatura do ar, do solo e umidade relativa do ar foram monitoradas durante todo o período de condução do experimento a cada 15 minutos com o auxílio de data loggers (HoboTemp Pro®). A partir desse monitoramento, calculou-se a soma térmica diária (STd, °C dia) pela equação 1 (GILMORE; ROGERS, 1958):

$$STd = (Tm - Tb) \text{ eq. (1)}$$

em que Tm é a temperatura média diária do ar, calculada pela média aritmética da temperatura máxima e mínima diária do ar, e Tb é a temperatura base para o arroz, que é definida como a temperatura mínima abaixo da qual não há desenvolvimento. Adotou-se a Tb = 11°C (INFELD; SILVA; ASSIS, 1998). A soma térmica acumulada (STa, °C dia) para as épocas de semeadura foi calculada pelo somatório da soma térmica diária, conforme equação 2:

$$STa = \sum STd \text{ eq. (2)}$$

Desse modo, o período de avaliação de cada época de semeadura foi determinado pela quantidade de dias necessária para atingir a soma térmica acumulada de 260 ± 7 Graus-dia ($^{\circ}\text{C}$ dia) (tab. 9).

Tabela 9. Número de dias necessário para atingir a soma térmica acumulada de 260 ± 7 Graus-dia em função da época de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.

Época de semeadura	Número de dias
setembro	41
outubro	31
novembro	26
dezembro	25

As variáveis analisadas foram a porcentagem total de plantas emergidas (experimentos 1 e 2) e a velocidade de emergência de arroz-vermelho (experimento 2). A velocidade de emergência foi estimada pelo cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE) através da equação 3 (POPINIGIS, 1977):

$$\text{IVE} = \text{N1/D1} + \dots + \text{Nn/Dn} \text{ eq. (3)}$$

em que: IVE = índice de velocidade de emergência; N1= número de plântulas emergidas no primeiro dia; Nn= número não acumulado de plântulas emergidas; D1= primeiro dia de contagem; e Dn= número de dias contados após a semeadura. As contagens do número de plântulas emergidas foram efetuadas em intervalos diários, considerando-se como emergida, as plântulas que possuíam coleóptilo maior que 1,5 cm (BALBINOT JR et al., 2003). Para a avaliação final de emergência, os dados foram convertidos para porcentagem com base no número de plantas emergidas em cada época de semeadura.

Os resultados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância (independência, normalidade e homocedasticidade da variância) transformando-se quando necessários e então, submetidos à análise da variância. O teste de Duncan ($p \leq 0,05$) foi utilizado para comparação das médias entre épocas de semeadura e biótipos de arroz-vermelho. O teste “t” ($p \leq 0,05$) foi empregado para comparar médias entre os manejos de irrigação.

3.3 Resultados e Discussão

No experimento 1, as interações época de semeadura x manejo de irrigação e época de semeadura x biótipo foram significativas para a variável emergência de arroz-vermelho (tab. 10 e 11). O número de plântulas emergidas de arroz-vermelho foi maior nas semeaduras de outubro e novembro no manejo de irrigação contínuo. Já para o manejo intermitente, diferenças na emergência foram observadas apenas para a semeadura de outubro. Independentemente do manejo de irrigação, houve diferença significativa entre biótipos na semeadura de outubro quanto ao número de plântulas emergidas. Os biótipos SC608 e UFRGS foram estatisticamente similares a cultivar Puitá INTA CL, porém superiores aos demais biótipos avaliados.

Tabela 10. Porcentagem total de plântulas de arroz-vermelho emergidas em função de épocas de semeadura e manejos de irrigação do arroz. Capão do Leão, RS, 2012.

Época de semeadura	Emergência (%)	
	Manejos de irrigação	
	Contínuo	Intermitente
setembro	0,0 A ¹ b ²	0,2 Ab
outubro	4,4 Aa	5,2 Aa
novembro	5,2 Aa	1,5 Bb
dezembro	0,2 Ab	0,7 Ab

¹ Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem pelo teste “t” a 5% de probabilidade de erro.

² Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados obtidos demonstram a capacidade de germinação e emergência de arroz-vermelho sob lâmina de água, apesar de a mesma ter sido inferior a 10%. A germinação e emergência de arroz-vermelho em condições de anaerobiose têm sido relatadas por vários trabalhos existentes na literatura (SALDAIN, 1997; D’ABUNDO, 2003; HAMID; MANSOR; MAN, 2007; CHAUHAN, 2012). De acordo com os trabalhos, essa característica adaptativa parece estar relacionada com maior acúmulo de carboidratos de reserva, como o amido, nas

sementes de genótipos tolerantes (ELLA; ISMAIL, 2006). Além disso, pesquisas constataram que nesses genótipos, há maior expressão e tradução de enzimas α -amilases durante a germinação em condições de hipóxia ou anoxia, as quais são responsáveis pela transformação do amido em fonte de energia, promovendo o desenvolvimento da plântula (ISMAIL et al., 2009).

Tabela 11. Porcentagem total de plântulas de arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL emergidas em função do biótipo/cultivar e época de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.

Época de semeadura	Emergência (%)				
	Biótipo/Cultivar				
	ITJ20	ITJ88	SC608	UFRGS	Puitá
Setembro	0,0 A ¹ a ²	0,0 Aa	0,0 Ab	0,0 Ab	0,6 Ab
Outubro	1,2 BCa	0,0 Ca	8,3 Aa	7,1 ABa	8,5 Aa
Novembro	1,8 Aa	1,8 Aa	3,7 Ab	5,0 Aa	4,3 Aab
Dezembro	0,6 Aa	0,0 Aa	0,0 Ab	0,6 Ab	1,2 Ab

¹ Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

² Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Durante o processo de emergência, a tolerância à inundação tem sido associada à produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), as quais atuam como sinalizadores no desencadeamento das reações de defesa das plantas aos estresses bióticos e abióticos, maior atividade de enzimas antioxidantes e também ao aumento na produção de etileno (ISMAIL et al., 2009; PARLANTI et al, 2011). O incremento nos níveis de etileno proporciona alongação do mesocótilo, coleótilo e até mesmo de entrenós de plantas mais desenvolvidas, possibilitando que partes das folhas posicionem-se acima da lâmina de água (D'ABUNDO, 2003; ISMAIL et al., 2009). Além do mecanismo de alongação, o etileno pode atuar induzindo a senescência de folhas submersas, resultando na morte de células e consequentemente, na produção de aerênquimas, permitindo o transporte de oxigênio das folhas não submersas para regiões em submersão (PARLANTI et al, 2011).

Associando-se os aspectos abordados anteriormente com a análise de vigor das sementes (tab. 8), nota-se que os biótipos com maior vigor (SC608 e UFRGS) apresentaram também maior percentual de plântulas emergidas. Esses resultados podem explicar as diferenças evidenciadas entre os biótipos de arroz-vermelho em relação à habilidade de germinar e emergir sob lâmina de água observada no experimento 1.

A similaridade verificada entre os manejos de irrigação foi possivelmente, resultado das condições experimentais. Em condições controladas, a evapotranspiração da lâmina de água, mesmo no manejo intermitente, é menor, em virtude da ausência de perdas por percolação profunda e lateral. Além disso, a reposição da lâmina de água foi efetuada imediatamente após atingir a condição de solo saturado, fato que pode ocorrer em intervalos maiores em ocasiões de lavouras comerciais. Nesse sentido, resultados diferentes podem ser obtidos em condições de campo, onde as particularidades de cada manejo de irrigação são produto das variações de topografia, de solo e demais aspectos de manejo da cultura. Dessa forma, estudos posteriores devem ser realizados para melhor compreensão desses resultados.

Para o sistema de produção de arroz irrigado, a emergência sob lâmina de água torna ainda mais complexo o manejo do arroz-vermelho, principalmente em áreas de cultivo pré-germinado. Diante dos resultados obtidos, o manejo desse sistema requer precauções adicionais. O uso consecutivo e isolado dessa prática pode resultar na seleção de populações de arroz-vermelho com a habilidade de emergir sob lâmina de água, o que reduziria a eficiência de controle dessa infestante com a utilização do mesmo. Nesse contexto, cabe ressaltar que no momento o sistema pré-germinado constitui-se em uma das principais alternativas para o manejo de áreas com arroz-vermelho resistente aos herbicidas imidazolinonas (LEON et al, 2008; BURGOS et al, 2008). Dessa forma, medidas complementares de controle devem ser adotadas, destacando-se, o monitoramento e controle de “escapes”, rotação de culturas e/ou até mesmo a alternância de sistemas de cultivo.

No experimento 2, a época de semeadura afetou diretamente a porcentagem total de plântulas emergidas e a velocidade de emergência (IVE) dos biótipos de arroz-vermelho. Para a maioria dos biótipos avaliados, houve aumento no número de plantas emergidas e também na velocidade de emergência nas semeaduras de

novembro e dezembro (tab. 12 e 13). Diferenças entre biótipos foram observadas potencialmente nas semeaduras de setembro e outubro. SC608 e UFRGS apresentaram maior número de plantas emergidas e velocidade de emergência superior quando comparados ao ITJ20 e ITJ88. Em outubro, a velocidade de emergência do biótipo UFRGS foi inclusive estatisticamente maior que a cultivar Puitá INTA CL, adotada como genótipo padrão para o comparativo com os biótipos.

Tabela 12. Emergência acumulada dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL em função de épocas de semeadura. Capão do Leão, RS, 2012.

Época de semeadura	Emergência (%)				
	Biótipo/Cultivar				
	ITJ20	ITJ88	SC608	UFRGS	Puitá
Setembro	62 B ¹ c ²	27 Cb	71 ABa	91 Aa	71 ABb
Outubro	69 Bbc	16 Cb	90 Aa	99 Aa	92 Aa
Novembro	85 Aab	62 Ba	89 Aa	90 Aa	95 Aa
Dezembro	90 Aa	16 Bb	86 Aa	86 Aa	94 Aa

¹ Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

² Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 13. Velocidade de emergência do arroz-vermelho e da cultivar Puitá INTA CL em função de épocas de semeadura e biótipos. Capão do Leão, RS, 2012.

Época de semeadura	IVE				
	Biótipo/Cultivar				
	ITJ20	ITJ88	SC608	UFRGS	Puitá
Setembro	0,61 B ¹ c ²	0,11 Cb	0,87 Ab	0,98 Ac	0,78 ABc
Outubro	1,11 Cb	0,15 Db	1,33 Ba	1,63 Aa	1,41 Bb
Novembro	1,61 Aa	1,08 Ba	1,58 Aa	1,73 Aa	1,75 Aa
Dezembro	1,38 Aab	0,24 Bb	1,32 Aa	1,32 Ab	1,43 Ab

¹ Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

² Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Essas diferenças podem estar relacionadas às variações de temperatura do ar e do solo, características genéticas dos biótipos testados e também a qualidade fisiológica das sementes. Temperaturas mais baixas do ar e do solo foram verificadas nos meses de setembro e outubro em comparação aos meses de novembro e dezembro (Fig. 3). A ocorrência de temperaturas baixas na fase inicial pode inibir ou atrasar o processo de germinação, emergência e estabelecimento, afetando negativamente o desenvolvimento de plântulas de arroz e arroz-vermelho (SHIVRAIN et al., 2009; BONNECARRERÈ et al., 2011, GOULART; MATZENBACHER; MEROTTO JR, 2012). A redução na velocidade desses processos ocorre porque a temperatura afeta diretamente a atividade enzimática, respiratória e a qualidade fisiológica das sementes (MARINI et al., 2012). Em baixas temperaturas, há alteração na permeabilidade de membranas, o que causa maior extravasamento de eletrólitos, redução na atividade enzimática nos tecidos de reserva, retardando a velocidade e a capacidade de germinação (SANTOS; MENEZES, VILLELA, 2004). Ainda, baixas temperaturas podem diminuir a liberação da dormência do arroz-vermelho, proporcionando menor número de plântulas emergidas (AGOSTINETTO et al., 2004).

Características genéticas intrínsecas dos biótipos avaliados podem resultar em comportamentos diferenciados perante as variações de temperatura (CHO, 2010). Genótipos pertencentes ao grupo *japônica* têm sido apontados por ser mais tolerantes ao estresse por baixas temperaturas na fase inicial do que genótipos do grupo *indica* o que implica em melhor capacidade de estabelecimento em condições desfavoráveis (CRUZ; MILACH, 2004).

Com base nos resultados do experimento 2, o rápido estabelecimento das populações de arroz-vermelho em condições de campo pode resultar no aumento da competição inicial com a cultura, potencializando as perdas de produtividade causadas pela interferência dessa planta daninha. Trabalhos tem demonstrado que a emergência antecipada de plantas concorrentes, arroz-vermelho ou cultivar simulador, em relação à emergência do arroz irrigado, aumenta as perdas na produtividade de grãos de arroz (AGOSTINETTO et al., 2004; AGOSTINETTO et al., 2005). Considerando a grande variabilidade genética existente entre os biótipos que infestam as lavouras do Rio Grande do Sul (MENEZES et al., 2004), a antecipação da época de semeadura como estratégia de manejo para minimizar as perdas causadas pela interferência do arroz-vermelho, necessita ser analisada com cautela.

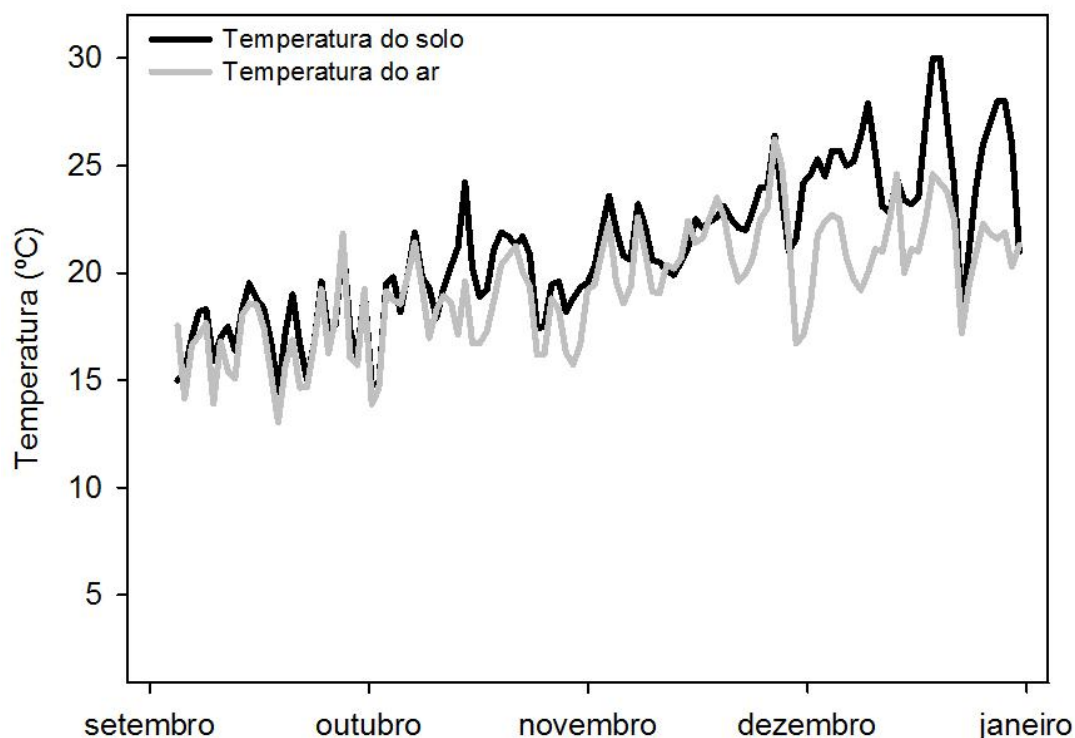


Figura 3. Temperatura média do ar e do solo no período de setembro a janeiro de 2011/12. Capão do Leão, RS, 2012.

A adoção dessa prática deve compreender concomitantemente o emprego de alternativas de manejo com o objetivo de maximizar a habilidade competitiva da cultura com a planta daninha. Semeaduras realizadas no início do período recomendado, devem preferencialmente utilizar cultivares tolerantes a baixas temperaturas na fase inicial, com rápido estabelecimento e consequentemente, fechamento do dossel vegetativo, além de lotes de sementes com elevado vigor.

Outro aspecto importante a ser ressaltado diz respeito à uniformidade de emergência de arroz-vermelho nos meses de setembro e outubro. A redução na velocidade de emergência implica na distribuição da germinação no tempo, o que dificulta a adoção de medidas de controle. A emergência escalonada pode possibilitar que plantas de arroz-vermelho escapem de medidas adotadas precocemente, como a aplicação de herbicidas de ação total em operações de dessecação ou a de herbicidas imidazolinonas em lavouras de arroz Clearfield®. Nesse contexto, plantas de arroz-vermelho que emergirem tardiamente podem tornar-se resistentes as imidazolinonas via sincronização de florescimento e

consequentemente, fluxo gênico, além de proporcionar a alimentação do banco de sementes para os próximos cultivos.

3.4 Conclusões

A presença de lâmina de água reduz a emergência de arroz-vermelho, no entanto, alguns biótipos possuem a habilidade de germinar e emergir mesmo sob lâmina de água de 10cm.

O número de plântulas emergidas e a velocidade de emergência de arroz-vermelho aumentam nas semeaduras de novembro e dezembro.

Semeaduras nos meses de setembro e outubro resultam em maior desuniformidade na emergência de arroz-vermelho.

4 CAPÍTULO III - Sensitivity of two red rice biotypes to glyphosate and glufosinate and response to imidazolinone herbicides at different planting dates

4.1 Introduction

Imidazolinone-resistant (IMI) rice was developed using either induced mutation by gamma radiation or chemical transformation by ethyl methane sulfonate and it is commercialized since 2002 in the United States (SHIVRAIN et al., 2010). IMI-rice genotypes exhibit tolerance to the imidazolinone herbicides, which inhibit acetolactate synthase (ALS), a key enzyme in the biosynthesis of branched-chain amino acids leucine, isoleucine and valine (AVILA et al., 2005). In Brazil, the technology became available in 2004 with the commercial release of imazethapyr plus imazapic herbicide (Only[®]) and a tolerant variety (IRGA 422 CL) under the trade name Clearfield[™] (SANTOS et al., 2007).

The introduction of Clearfield[™] technology allowed growers to selectively control red rice in paddy rice areas with little effect on crop safety (STEELE; CHANDLER; MCCAULEY, 2002; AVILA et al., 2005; VILLA et al., 2006). The adoption of this technology was rapid, resulting in more than 50% of rice acreage planted with IMI-rice in Brazilian State of Rio Grande do Sul by 2011 (IRGA, 2012). On the other hand, due to the continued use of this technology and with minimal alternative cultural practices being adopted concomitantly, several red rice biotypes have evolved resistance to imidazolinone herbicides (SHIVRAIN et al., 2007; MENEZES et al., 2009; BUSCONI et al., 2012).

Monitoring red rice populations from Rio Grande do Sul State, Menezes et al. (2009) found that 56% of accessions were resistant to imazethapyr plus imazapic.

Studies with the same populations verified that the main herbicide resistance mechanism was ALS insensitivity indicating the occurrence of gene flow of the herbicide resistance allele from the Clearfield™ rice variety to red rice (ROSO; MEROTTO JR, DELATORRE, 2010). Furthermore, long term and continue exposure of red rice populations to ALS-inhibitor herbicides used over decades in rice production may have contributed to select natural populations of IMI-tolerant red rice due to ALS polymorphism (RAJGURU et al., 2005; KUK; BURGOS; SHIVRAIN, 2008; SHIVRAIN et al., 2010).

Amino acid substitutions in the ALS sequence have been reported to alter fitness, competitive traits and sensitivity of red rice hybrids to herbicides (RAJGURU et al., 2005; KUK; BURGOS; SHIVRAIN, 2008; SHIVRAIN et al., 2009). F₁ plants from hybrids between IMI-rice and red rice flowered 1-5 days later and produced 20-50% more seed than the rice parent (SHIVRAIN et al., 2009). In addition, a recent study reported that germination rate was higher in a rice genotype carrying Ala₁₂₂Thr substitution than the other imidazolinone-resistant and susceptible genotypes at low temperatures (GOULART; MEROTTO JR; MATZENBACHER, 2012).

The widespread occurrence of red rice resistance led rice growers to include multiple management practices to successfully control this weed. The most effective traditional practice used is to rotate rice with soybean allowing the use of non-selective herbicides and alternative pre-emergent treatment options (BURGOS et al., 2011). However, studies have been reported differential sensitivity of some red rice ecotypes and accessions to glufosinate and glyphosate (NOLDIN et al., 1999; BURGOS et al., 2011). Therefore, additional informations on herbicide sensitivity are needed to help farmers in weed management decisions and to avoid resistance evolution to alternative herbicides.

In some areas where crop rotation is not possible, early planting date can be adopted to mitigate yield losses caused by red rice competition, since red rice emergence is reduced at low soil/air temperature (GEALY; SALDAIN; TALBERT, 2000; SHIVRAIN et al., 2009). In this context, the imidazolinone herbicides would be applied under lower temperatures in the IMI-rice field planted earlier than regular or late planting date.

Limited information is available concerning the effect of planting date on red rice control with imidazolinones in paddy rice. Most studies conducted have focused on red rice emergence characteristics and yield losses due to interference

(SHIVRAIN et al., 2009; GOULART; MEROTTO JR; MATZENBACHER, 2012). As temperature can vary between planting date or even before and after herbicide application, it is important to determine its effects on imidazolinone efficacy. Understanding of these interactions will provide growers better management of red rice in the Clearfield™ production system.

Based on these findings, we hypothesized those red rice biotypes carrying mutations in the ALS have differential resistance level to herbicides and its control could be affected by planting date. Therefore, this study aimed to evaluate: a) control of red rice resistant to imidazolinone herbicides with glyphosate and glufosinate; b) sensibility of red rice biotypes to imidazolinone herbicides under different planting dates.

4.2 Material and Methods

Two experiments were carried out during 2011 and 2012 at the Centro de Estudos em Herbologia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (Weed Science Center, Eliseu Maciel College of Agronomy, Federal University of Pelotas), Capão do Leão, Rio Grande do Sul - RS, Brazil. Two red rice biotypes, identified as AV 109 and AVsus, were obtained from Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Federal University of Rio Grande do Sul), Porto Alegre, RS, Brazil. The biotypes cited above were collected in rice fields located in southern Brazil (RS State). The AV 109 biotype was determined as imidazolinone-resistant due to ALS gene mutation Gly₆₅₄Glu (ROSO et al., 2010). AVsus was confirmed as susceptible to imidazolinone in whole-plant bioassay and molecular characterization studies.

Experiment 1 – Red rice biotypes sensitivity to glyphosate and glufosinate

The whole-plant bioassay was conducted in greenhouse conditions during October 2011. The experiment was conducted in randomized block design in a factorial arrangement with four replications. The factor A included the herbicides glyphosate (Roundup Transorb®), glufosinate (Finale®) and imazapyr plus imazapic (Kifix®). The factor B was the red rice biotypes described earlier in the plant material

section. The factor C included nine herbicide rates (0.001; 0.01; 0.1; 0.25; 0.5; 1.0; 2.0 and 5.0 times the labeled rate) plus an untreated check. The labeled rates of glyphosate was 1440g e.a. ha⁻¹, for glufosinate was 400g i.a. ha⁻¹ and for imazapyr + imazapic was 73,5 + 24,5g i.a. ha⁻¹.

Ten seeds of each red rice biotype were placed in 700 mL plastic cups previously filled with 500g of paddy soil. Treatments were applied at 3 to 4-leaf stage of red rice plants including adjuvant accordingly to the label. Applications were performed using a CO₂-pressurized backpack sprayer couple to a boom equipped with three flat-fan nozzles (Teejet XR110015) spaced at 50-cm and calibrated to deliver 150 L ha⁻¹ of spray solution at 172 kPa.

Red rice control was evaluated at 7, 14, 21 e 28 days after herbicides applications. Control results were estimated visually using a scale of 0 to 100% where 0 = no red rice control and 100 = total red rice control (death of red rice plants) (FRANS, 1986). After 28 days red rice plants were harvested and dried in an oven at 60 °C to determinate shoot dry weight. Results were expressed as percentages of untreated check to standardize comparisons between biotypes and herbicides.

Data were tested to assumptions of experimental design (independence, homogeneity and normality). Then, the data were subjected to analysis of variance (ANOVA). A non-linear log-logistic model was used to indicate overall patterns of treatments in dose-response curves accordingly to Seefeldt et al. 1995 (equation 4):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + (X/X_{50})^b} \quad \text{eq. (4)}$$

where Y= response variable; X= herbicide rate; D= upper limit; C= lower limit; b= slope of the curve around X₅₀; X₅₀= herbicide rate that causes 50% red rice control (CT₅₀) or herbicide rate required to 50% dry weight reduction (GR₅₀). Resistance ratio was based on CT₅₀ and GR₅₀ values of resistant and susceptible biotypes. 95% confidence intervals were used to compare CT₅₀ and GR₅₀ values between biotypes and calculated based on standard error of this estimated parameter.

Experiment II – Response of the red rice biotypes to imidazolinone herbicides at different planting dates.

A second experiment was carried out under greenhouse conditions from September to December 2012. The experiment was conducted in a randomized complete block design in a factorial arrangement with four replications. The factor A included two planting dates, which were September 19th and November 1st. The factor B was the same red rice biotypes used in the experiment 1. The factor C included five herbicide rates (0.25; 0.5; 1; 1.5 and 2.0 times the recommended rate of imazapyr + imazapic) plus an untreated check. The labeled rate to imazapyr + imazapic was 73,5 + 24,5g i.a. ha⁻¹, respectively.

Ten seeds of each red rice biotype were planted in a 10-cm diameter by 20-cm high pots containing 400g of soil and covered with 1 – 2cm of substrate. Soil moisture was monitored daily and kept in the field capacity. Soil and air temperature was recorded with data loggers (Hobo Pro[®]) each 15 minutes. Treatment applications were performed using a boom equipped with three flat-fan nozzles (Teejet XR11002) spaced at 50-cm apart. Boom was coupled to a CO₂-pressurized backpack sprayer calibrated to deliver 150L ha⁻¹ of spray solution at 172kPa. Treatments were sprayed on October 10th and November 17th for the first and second planting date, respectively. All treatments included nonionic surfactant (Dash[®]) at 0.5% v/v. Red rice plants were at 3 to 4 leaf stage in the moment of herbicide application.

Red rice control was evaluated at 7, 14, 21 e 28 days after herbicide applications. Red rice control was estimated visually using a scale of 0 to 100% where 0 = no red rice control and 100 = total red rice control (FRANS, 1986). After 28 days plants were harvested and dried in an oven at 60 °C to determine the weight of dry matter.

Data were tested to assumptions of experimental design (independence, homogeneity and normality) and then, subjected to ANOVA. Non-linear exponential models were used to obtain CT₅₀ (herbicide rate required to 50% red rice control) and GR₅₀ (herbicide rate required to 50% dry weight reduction) from red rice control (equation 5) and shoot dry matter variables (equation 6).

$$Y = a * (1 - \exp^{-b*X}) \text{ eq. (5)}$$

$$Y = Y_0 + a * (\exp^{-b*X}) \text{ eq. (6)}$$

Equation 5 is an asymptotic regression where Y = red rice control, a = maximum red rice control, b = slope of the curve, X = herbicide rate, while Equation 6 is an exponential decay regression where Y = shoot dry weight, Y_0 = maximum shoot dry weight reduction, a = point of inflection, b = slope of the curve, X = herbicide rate. Resistance ratio was based on CT_{50} e GR_{50} values of resistant and susceptible biotypes. 95% confidence intervals were used to compare these parameters between biotypes.

4.3 Results and Discussion

Experiment 1 – Red rice biotypes sensitivity to glyphosate and glufosinate

Red rice biotypes showed differential tolerance level to imazapyr plus imazapic at 28 days after treatment (DAT) (Fig. 4A). The herbicide rate required to control 50% of population was lower for IMI-susceptible than IMI-resistant biotype (tab. 14). Similar response was observed for shoot dry weight variable (Fig. 5A). IMI-resistant biotype was > 3-fold tolerant than IMI-susceptible according to tolerance ratio values. Higher tolerance level of the IMI-resistant biotype is due to amino acid substitution Gly₆₅₄Glu in the functional protein that decreases its sensitivity to the inhibitory effect of the herbicide (ROSO et al., 2010; SHIVRAIN et al., 2010). This substitution in the ALS sequence have been reported to confer resistance of the most red rice populations to imidazolinone herbicides in Rio Grande do Sul (MENEZES et al., 2009; ROSO et al., 2010).

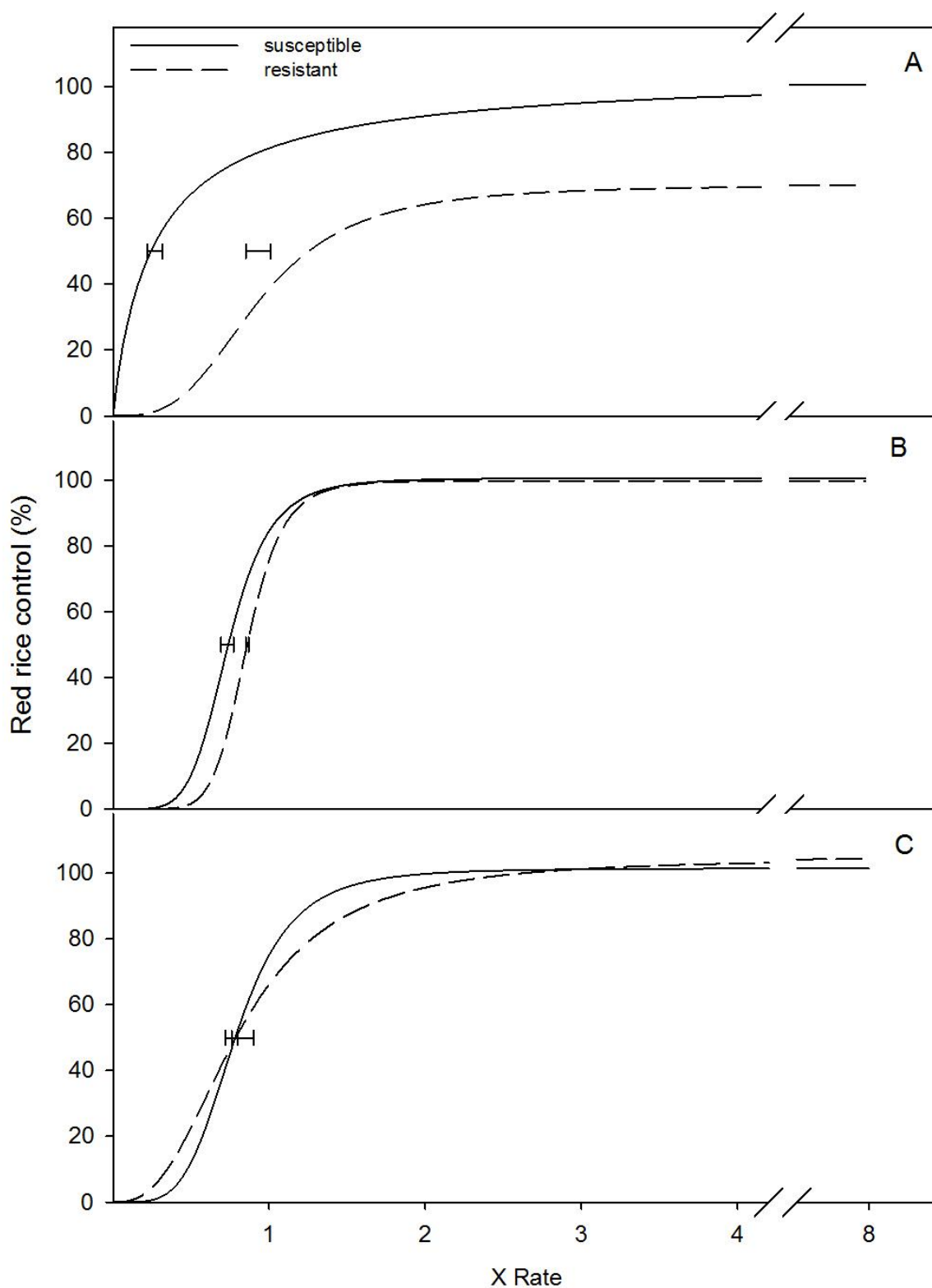


Figure 4. Dose response curves for red rice control with imazapyr plus imazapic (A), glufosinate (B) and glyphosate (C) at 28 DAT. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at CT_{50} values using overlapping of 95% confidence intervals.

Table 14. Regression equation, CT₅₀ and resistant to susceptible ratio (R/S) values for three herbicides and two biotypes in whole-plant bioassay estimated by log-logistic analysis. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicide	Biotype	Regression equation	R ²	CT ₅₀ ^{1/}	R/S ^{2/}
imazapyr+imazapic	resistant	$Y=70/1+(X/0,94)^{-3,14}$	0,93	0,94	3,48*
	susceptible	$Y=104/1+(X/0,27)^{-0,94}$	0,96	0,27	
glufosinate	resistant	$Y=99/1+(X/0,87)^{-7,54}$	0,99	0,87	1,16*
	susceptible	$Y=100/1+(X/0,74)^{-5,52}$	0,97	0,74	
glyphosate	resistant	$Y=104/1+(X/0,81)^{-2,64}$	0,92	0,81	1,03 ^{ns}
	susceptible	$Y=101/1+(X/0,78)^{-4,39}$	0,99	0,78	

^{1/} CT₅₀ is the herbicide rate that causes 50% red rice control.

^{2/} R/S ratio were calculated based on CT₅₀ values of resistant and susceptible biotypes.

* ratio is significant as the 95% confidence interval of the two CT₅₀ did not overlap.

^{ns} ratio is not significant different as the 95% confidence interval of the two CT₅₀ did overlap.

There was difference between red rice biotypes to glufosinate sensitivity based on CT₅₀ values (Fig. 4B). IMI-resistant biotype required greater herbicide rate compared to IMI-susceptible to achieve 50% of control. However, GR₅₀ values from shoot dry matter data indicated no differences within biotypes (tab. 15). Furthermore, tolerance ratio was similar for both variable evaluated suggesting minimal differences observed in this experiment. Differential sensitivity of red rice populations to glufosinate have also been reported in literature. Blackhulled red rice TX 4 was less sensitive to paraquat and glufosinate than other ecotypes and rice cultivars. Glufosinate at 1,12 kg a.i ha⁻¹ was required to provide 94% control of TX 4 (NOLDIN et al., 1999).

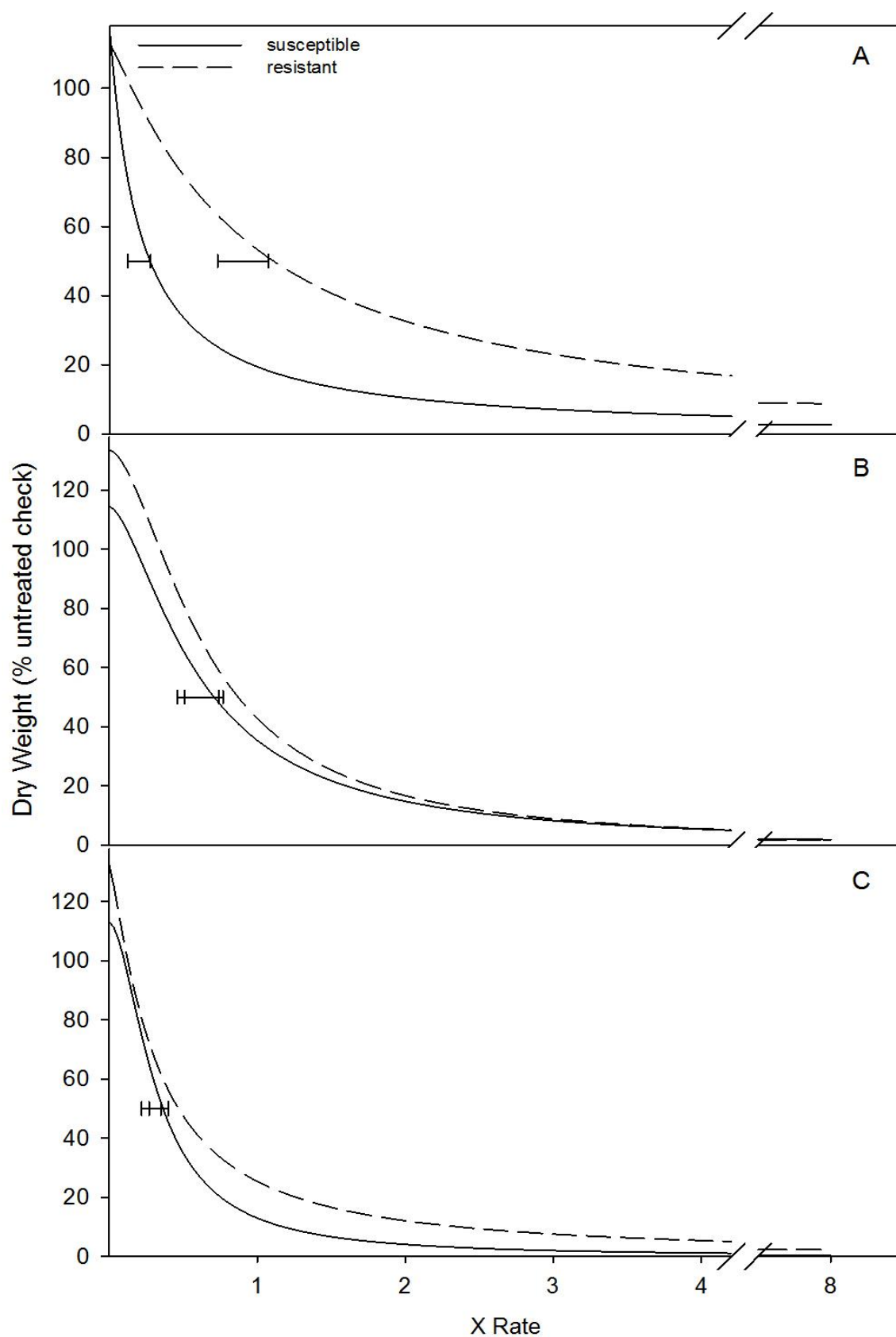


Figure 5. Dose response curves for shoot dry weight of red rice plants treated with imazapyr plus imazapic (A), glufosinate (B) and glyphosate (C) at 28 DAT. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at GR_{50} values using overlapping of 95% intervals.

Table 15. Regression equation, GR₅₀ and resistant to susceptible ratio (R/S) values for three herbicides and two biotypes in whole-plant bioassay estimated by log-logistic analysis. Capão do Leão, RS, 2012.

Herbicide	Biotype	Regression equation	R ²	GR ₅₀	R/S
imazapyr+imazapic	resistant	$Y=112/1+(X/0,90)^{1,13}$	0,86	0,90	4,50*
	susceptible	$Y=116/1+(X/0,20)^{1,01}$	0,83	0,20	
glufosinate	resistant	$Y=133/1+(X/0,64)^{1,72}$	0,85	0,64	1,06 ^{ns}
	susceptible	$Y=114/1+(X/0,60)^{1,59}$	0,84	0,60	
glyphosate	resistant	$Y=132/1+(X/0,31)^{1,24}$	0,86	0,31	1,00 ^{ns}
	susceptible	$Y=113/1+(X/0,31)^{1,78}$	0,96	0,31	

^{1/} GR₅₀ is the herbicide rate that causes 50% dry weight reduction.

^{2/} R/S ratio were calculated based on GR₅₀ values of resistant and susceptible biotypes.

* ratio is significant as the 95% confidence interval of the two CT₅₀ did not overlap.

^{ns} ratio is not significant different as the 95% confidence interval of the two CT₅₀ did overlap.

Glyphosate controlled both IMI-resistant and susceptible biotypes with no differences on CT₅₀ and GR₅₀ values (Fig. 4C and 5C). Fifty percent of control and shoot dry matter reduction was obtained with less than 1X the labeled rate. Efficacy of this herbicide on red rice control resulted of the alternative mode of action, inhibiting 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), a key enzyme in the shikimate biosynthetic pathway which is necessary for the production of the aromatic amino acids, auxin, phytoalexins, folic acid, lignin, plastoquinones and many other secondary products. Similar results were reported by Kuk et al. (2008), who found that imazethapyr-tolerant accessions were susceptible to glyphosate.

Based on these findings, glufosinate and glyphosate can be used successfully in rice before planting as a burndown treatment or at-planting by dissection of emerged IMI-resistant red rice. Glyphosate can also be employed in rice-soybean rotation programs to control red rice flushes during soybean growing season. Nevertheless, other cultural practices must be associated in the red rice management to extend use of the Clearfield® technology and avoid resistance evolution of red rice populations to glyphosate and glufosinate.

Experiment II – Red rice biotypes response to imidazolinone herbicides at different planting dates.

The exponential rise to maximum and exponential decay models provided best fit for red rice control and shoot dry matter data, respectively. Both models indicated statistical interaction between biotypes with planting date ($p \leq 0,05$). Planting date had little and no effect on sensitivity of the red rice biotypes to imidazolinone herbicides. Differences across planting date were observed only to IMI-susceptible biotype accordingly to red rice control evaluation (Fig. 6). IMI-susceptible biotype required almost 3-fold more herbicide rate on september than november to achieve 50% control (tab. 16).

Table 16. Regression equation, CT_{50} and resistant to susceptible ratio (R/S) for red rice biotypes in two planting dates in response to imazapyr + imazapic application. Capão do Leão, RS, 2012.

Planting date	Biotype	Regression equation	R^2	CT_{50}	R/S
september	resistant	$Y=83*(1-\exp^{-0,75*X})$	0,92	1,21	2,32*
	susceptible	$Y=90*(1-\exp^{-1,54*X})$	0,95	0,52	
november	resistant	$Y=81*(1-\exp^{-0,90*X})$	0,90	1,06	5,58*
	susceptible	$Y=84*(1-\exp^{-4,73*X})$	0,93	0,19	

^{1/} CT_{50} is the herbicide rate that causes 50% red rice control.

^{2/} R/S ratio was calculated based on CT_{50} values of resistant and susceptible biotypes.

* ratio is significant as the 95% confidence interval of the two CT_{50} did not overlap.

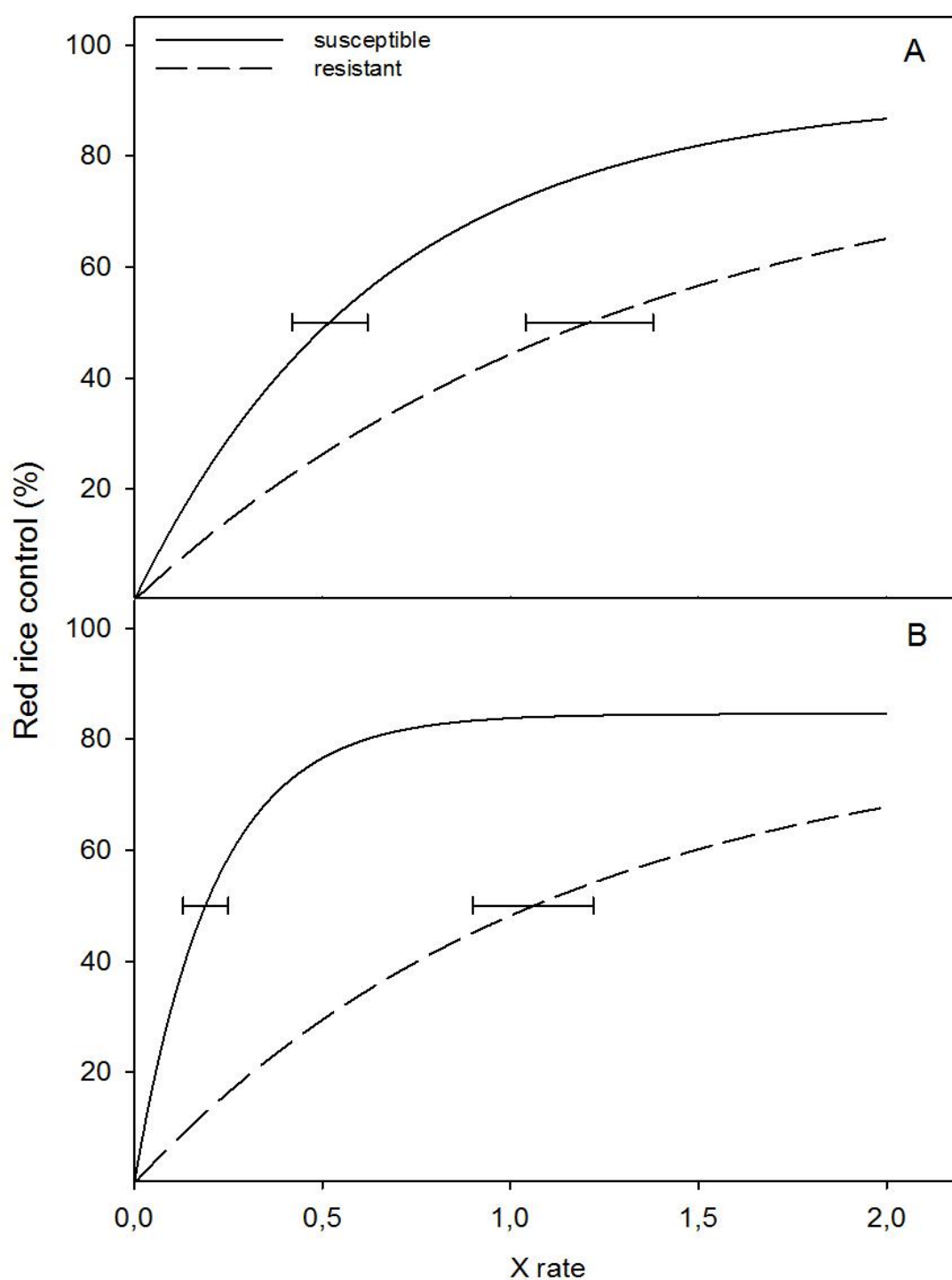


Figure 6. Dose response curves for red rice control of IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes at september (A) and november (B) planting dates according to imazapyr + imazapic rate. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at CT_{50} values using overlapping of 95% confidence intervals.

Differential sensitivity observed in the susceptible might be associated to environmental factors that influence absorption, translocation and metabolism of the imidazolinone herbicides in red rice. Relative humidity, temperature and soil moisture prior to/or at the time of herbicide application affects post-emergence weed control with imidazolinones (HAGER et al., 1999). Studies in the literature have been reported the effect of soil moisture on red rice control and light intensity affecting uptake and movement of imazethapyr in red rice plants (ZHANG, W.; WEBSTER, E.P.; MADGI SELIM, H., 2001; CAMARGO et al, 2012). However, no work was found investigating the role of temperature in these processes.

Researches developed with other weed species such as pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa* L.) showed that variation in temperature had no effect on absorption of imazethapyr, but the acropetal distribution of this herbicide increased when temperature changed from 18 to 35 °C (KENT; WILLS; SHAW, 1991). Additionally, temperature has also effect on crop metabolism. The differential sensitivity of many agronomic crops to imidazolinone herbicides has been mentioned to depend on chemical characteristics of each herbicide and the ability of the crop to metabolize the herbicide to nontoxic forms (BUKUN et al., 2012). Injury of corn seedlings from soil residues of imazaquin was reduced at 18 and 24 °C soil temperature, because more herbicide was metabolized in shoot tissue than at 12 °C (POLGE; BARRET, 1997).

In this experiment, temperature changed consistently before and after herbicide applications and also across the planting date (Fig. 8). Generally, lower temperatures were registered at september than november planting date. As described earlier in other studies, low temperature reduces herbicide movement into the plant, resulting in less herbicide amount in the target site. To compensate this reduction, higher herbicide rates are required to achieve similar levels of weed control. This hypothesis may be explaining differential sensitivity observed in the IMI-susceptible biotype.

IMI-resistant biotype exhibited similar sensibility to imidazolinone herbicides in the two planting date evaluated. Based on overlapping of 95% confidence intervals, CT_{50} and GR_{50} values were not statistically different between september and november (Fig. 6 and 7). Similar sensitivity observed in this biotype may be related to resistance mechanism identified in the previous studies, which was target site altered due to substitution in the ALS sequence (ROSO et al., 2010).

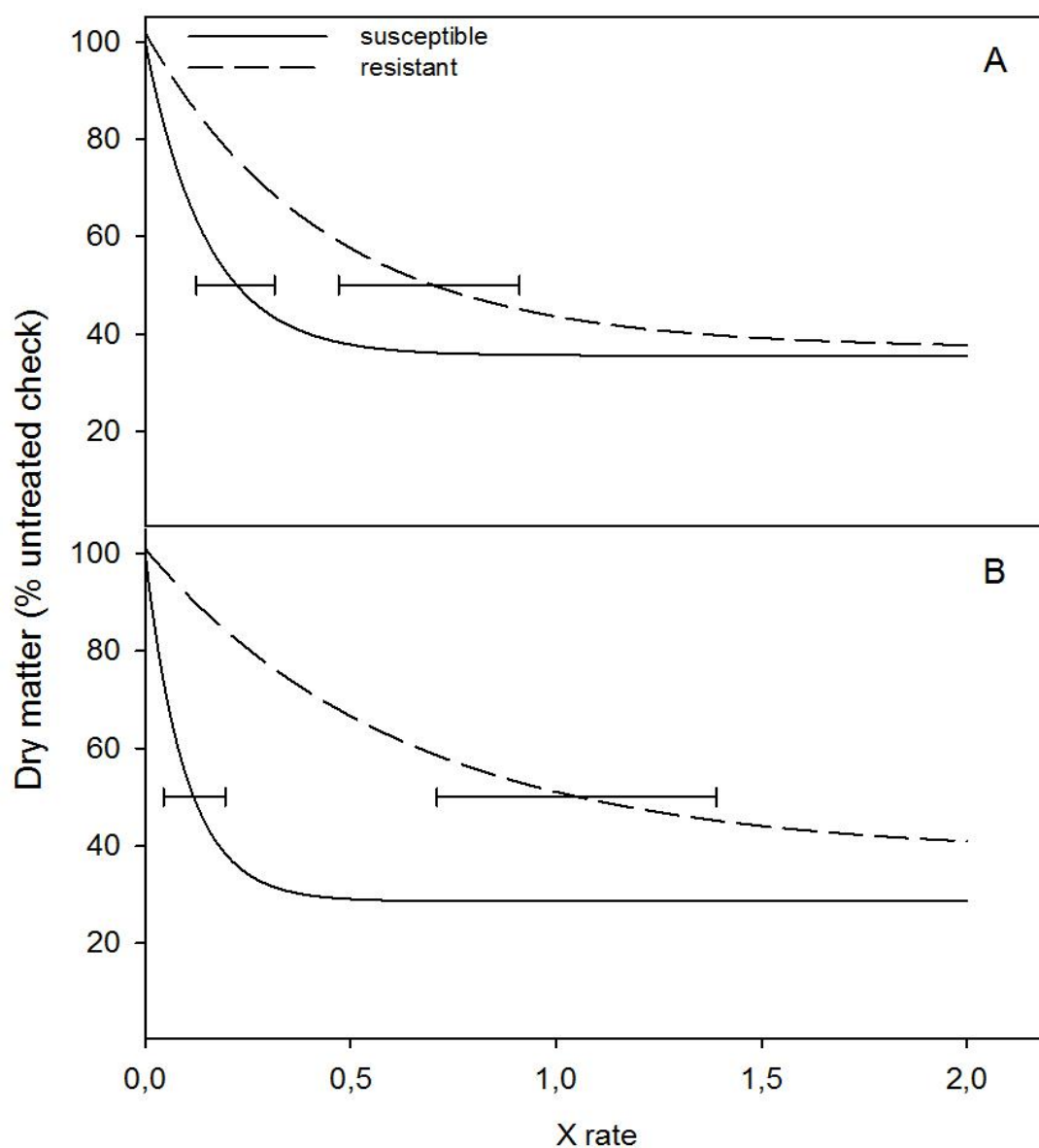


Figure 7. Shoot dry weight of IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes at september (A) and november (B) planting date according to herbicide rate. Capão do Leão, RS, 2012. Biotypes are compared at GR_{50} values using overlapping of 95% intervals.

Tabela 17. Regression equation, GR₅₀ and R/S for IMI-resistant and IMI-susceptible biotypes accordingly to the planting date. Capão do Leão, RS, 2012.

Planting date	Biotype	Regression equation	R ²	GR ₅₀	R/S
september	resistant	$Y=37,08+64,80*(\exp^{-2,30*X})$	0,87	0,69	3,13*
	susceptible	$Y=35,67+64,28*(\exp^{-6,71*X})$	0,92	0,22	
november	resistant	$Y=38,30+62,73*(\exp^{-1,59*X})$	0,85	1,05	8,75*
	susceptible	$Y=28,64+71,33*(\exp^{-10,20*X})$	0,97	0,12	

^{1/} GR₅₀ is the herbicide rate that causes 50% dry weight reduction.

^{2/} R/S ratio were calculated based on GR₅₀ values of resistant and susceptible biotypes.

* ratio is significant as the 95% confidence interval of the two CT₅₀ did not overlap.

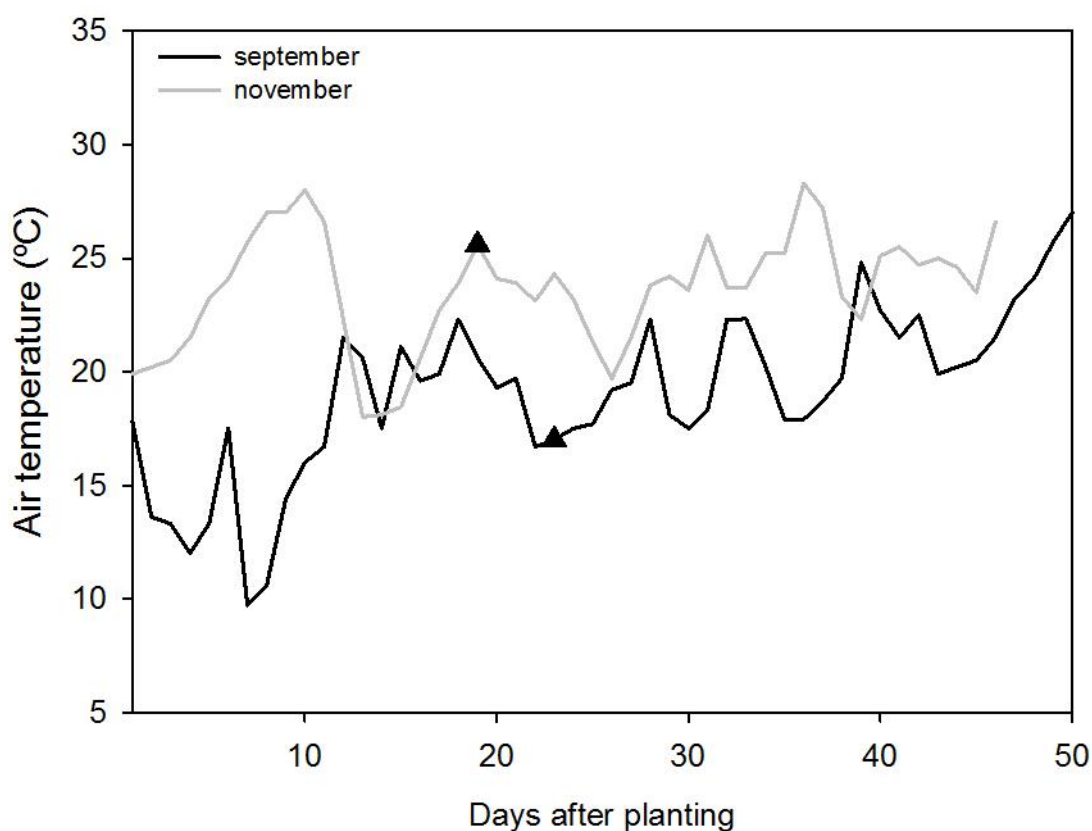


Figure 8. Daily mean of air temperature during september and november planting date. Capão do Leão, RS, 2012. (▲) symbol represents the day of treatment applications for each planting date.

4.4 Conclusions

Alternative herbicides such as glyphosate and glufosinate can be used to control imidazolinone-resistant red rice at 3-4 leaf stage.

Planting date affects sensitivity of the IMI-susceptible red rice to imidazolinone herbicides, but has no effect on IMI-resistant biotype to these herbicides.

5 CONCLUSÕES

Práticas culturais como a época de semeadura e o manejo de irrigação devem ser incorporadas na elaboração de programas de manejo integrado de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado a fim de proporcionar medidas alternativas de controle e de maximizar a eficiência dos métodos químicos principalmente sobre as espécies de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) e o arroz-vermelho (*Oryza sativa*).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; MEROTTO JUNIOR, A.; VIDAL, R.A. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 341 – 349, 2000.

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; BALBINOT JR, A.A. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz-vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 175 - 183, 2004.

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; BALBINOT JR, A.A. Dano econômico como critério de decisão sobre manejo de genótipos de arroz concorrentes em arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2005.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P.D.V.; TIRONI, S.P., DAL MAGRO, T.; VIGNOLO, G.K. Interferência de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa*) em função da época de irrigação. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 689 - 696, 2007.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P.D.V.; TIRONI, S.P., RIGOLI, R.P.; PANOZZO, L.E. Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 757 - 766, 2008.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SILVA, J.M.B.V.; TIRONI, S. P., ANDRES, A. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz submetidos a quatro épocas de entrada d'água após a aplicação de doses reduzidas de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 993 - 1003, 2010.

ANDRES, A.; AVILA, L.A.; MARCHESAN, E.; MENEZES, V.G. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes arroz vermelho em solo de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 85 – 88, 2001.

ANDRES, A.; CONCENÇO, G.; MELO, P.T.B.S.; SCHMIDT, M.; RESENDE, R.G. Detecção da resistência de capim-arroz (*Echinochloa sp.*) ao herbicida quinclorac em regiões orizícolas do sul do Brasil. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 221 – 226, 2007.

- ANDRES, A.; FREITAS, G.D.; CONCENÇO, G.; MELO, P.T.B.S.; FERREIRA, F.A. Desempenho do cultivar de arroz BRS Pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) submetidos a quatro épocas de entrada d'água após a aplicação de doses reduzidas de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 859 - 867, 2007.
- AVILA, L.A.; MARCHESAN, E.; ANDRES, A.; MENEZES, V.G. Banco de sementes de arroz-vermelho em sistemas de semeadura de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 773 – 777, 2000.
- AVILA, L.A.; SENSEMAN, S.A.; MCCAULEY, G.N.; CHANDLER, J.M.; O'BARR, J.H. Effect of flood timing on red rice (*Oryza spp.*) control with imazethapyr applied at different dry-seeded rice growth stages. **Weed Technology**, v. 19, n. 2, p. 476 – 480, 2005.
- BALBINOT JR, A.A.; FLECK, N.G.; BARBOSA NETO, J.F.; RIZZARDI, M.A. Características de plantas de arroz e a habilidade competitiva com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 165 – 174, 2003.
- BAVAGANTHIANNAN, M.V.; NORSWORTHY, J.K.; SMITH, K.L.; BURGOS, N. Seedbank size and emergence pattern of barnyardgrass (*Echinochloa colona*). **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 359 - 365, 2011.
- BONNECARRERÈ, V.; BORSANI, O.; DÍAZ, P.; CAPDEVIELLE, F.; BLANCO, P.; MONZA, J. Response to photooxidative stress induced by cold in *japonica* rice is genotype dependent. **Plant Science**, v. 180, n. 1, p. 726 – 732, 2011.
- BOUMAN, B.A.M.; TUONG, T.P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agriculture Water Management**, v. 49, p. 11 - 30, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- BUKUN, B.; NISSEN, S.J.; SHANER, D.L.; VASSIOS, J.D. Imazamox absorption, translocation and metabolism in red lentil and dry bean. **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 350 – 354, 2012.
- BURGOS, N.R.; NORMAN, R.J.; GEALY, D.R.; BLACK, H. Competitive N uptake between rice and weedy rice. **Field Crop Research**, v. 99, n. 2, p. 96 – 105, 2006.
- BURGOS, N.R.; NORSWORTHY, J.K.; SCOTT, R.C.; SMITH, K.L. Red rice (*Oryza sativa*) status after 5 years of imidazolinone-resistant rice technology in Arkansas. **Weed Technology**, v. 22, n. 1, p. 200 – 208, 2008.
- BURGOS, N.R.; SHIVRAIN, V.K.; SCOTT, R.C.; MAUROMOUSTAKOS, A.; KUK, Y.I.; SALES, M.A.; BULLINGTON, J. Differential tolerance of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) from Arkansas, USA to glyphosate. **Crop Protection**, v. 30, n. 8, p. 986 – 994, 2011.

BUSCONI, M.; ROSSI, D.; LORENZONI, C.; BALDI, G.; FOGHER, C. Spread of herbicide-resistant weedy rice (red rice, *Oryza sativa* L.) after 5 years of Clearfield rice cultivation in Italy. **Plant Biology**, v. 14, n. 1, p. 751 – 759, 2012.

CAMARGO, E.R.; SENSEMAN, S.A.; MCCAULEY, G.N.; BOWE, S.; HARDEN, J.; GUICE, J.B. Interaction between saflufenacil and imazethapyr in red rice (*Oryza ssp.*) and hemp sesbania (*Sesbania exaltata*) as affected by light intensity. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1010 – 1018, 2012.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. Germination ecology of chinese strangletop (*Leptochloa chinensis*) in the Phillipines. **Weed Science**, v. 56, n. 6, p. 820 - 825, 2008.

CAUHAN, B.S. Weedy rice (*Oryza sativa*) II. Response of weedy rice to seed burial and flooding depth. **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 385 – 388, 2012.

CHO, Y.S. Germination characteristics of Korean and Southeast Asian red rice (*Oriza sativa*) seeds affected by temperature. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 2, 104 – 107, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2012, disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_05_08_41_20_boletim_graos_-_10julho_2012.pdf, acesso em 10 de julho de 2012.

CONCENÇO, G.; LOPES, N.F.; ANDRES, A.; MORAES, D.M.; SANTOS, M.Q.; RIEFFEL FILHO, J.A.; VILELLA, J.V. Controle de plantas daninhas em arroz irrigado em função de doses de herbicidas pré-emergentes e início da irrigação. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 303 - 309, 2006.

CONCENÇO, G.; MELO, P.T.B.S.; ANDRES, A.; FERREIRA, E.A.; GALON, L.; FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A. Método rápido para detecção de resistência de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) ao quinclorac. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 429 - 437, 2008.

CRAWFORD, S. H.; JORDAN, D. L. Comparison of single and multiple applications of propanil and residual herbicides in dry-seeded rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v. 9, n. 1, p. 153 - 157, 1995.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Cold tolerance at the germination stage of rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 1, p. 1 - 8, 2004.

D'ABUNDO, Denise M. **Effects of submergence and hypoxia on the growth and anatomy of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings**. 2003. 67f. Dissertation (Agricultural and Mechanical College), Louisiana State University, Baton Rouge.

DIARRA, A.; SMITH JR, R.J.; TALBERT, R.E. Interference of red rice (*Oryza sativa*) with rice (*O. sativa*). **Weed science**, v. 33, n. 1, 644 – 649, 1985.

EBERHARDT, D.S.; DA SILVA, P.R.F.; RIEFFEL NETO, S.R. Eficiência de absorção e utilização do nitrogênio por plantas de arroz e dois ecótipos de arroz vermelho. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 309 – 323, 1999.

ELLA, E.S.; ISMAIL, A.M. Seedling nutrient status before submergence affects survival after submergence in rice. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 1673 – 1681, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESTORNINOS JR, L.E.; GEALY, D.R.; GBUR, E.E.; TALBERT, R.E.; MCCLELLAND, M.R. Rice and red rice interference. II. Rice response to population densities of three red rice (*Oryza sativa*) ecotypes. **Weed Science**, v. 53, n. 5, p. 683 – 689, 2005.

FOGLIATTO, S.; VIDOTTO, F.; FERRERO, A. Morphological characterisation of Italian weedy rice (*Oryza sativa*) populations. **Weed Research**, v. 52, n. 2, p. 60 – 69, 2011.

FRANS, R.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analysing plant responses to weed control practices. In: CAMPER, N.D. (Ed.) **Research methods in weed science**. 3 ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. 37 p.

FREITAS, T. F. S.; SILVA, P.R.F.; MARIOT, C.H.P.; MENEZES, V.G.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; VIEIRA, V.M. Produtividade de arroz irrigado e eficiência na adubação nitrogenada influenciadas pela época de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2397 - 2405, 2008.

GALON, L.; AGOSTINETTO, D.; MORAES, P.D.V.; DAL MAGRO, T.; PANOZZO, L.E.; BRANDOLT, R.R.; SANTOS, L.S. Estimativa das perdas de produtividade de grãos em cultivares de arroz (*Oryza sativa*) pela interferência do capim-arroz (*Echinochloa spp.*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 697 - 707, 2007.

GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; FERREIRA, F.A.; NOLDIN, J.A.; FREITAS, M.A.M. Competição entre plantas de arroz e biótipos de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) resistente e suscetível ao quinclorac. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 701 - 709, 2009.

GEALY, D. R.; SALDAIN, N. E.; TALBERT, R. E. Emergence of red rice ecotypes (*Oryza sativa*) under dry-seeded rice (*Oryza sativa*) culture. **Weed Technology**, v. 14, n. 1, p. 406 – 412, 2000.

GILMORE, E.C. Jr.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v. 50, n. 10, p. 611 - 615, 1958.

GOULART, I.C.G.R.; MATZENBACHER, F.O.; MEROTTO JR, A. Differential germination pattern of rice cultivars resistant to imidazolinone herbicides carrying

different acetolactate synthase gene mutations. **Weed Research**, v. 52, n. 1, p. 224 – 232, 2012.

GRUTZMACHER, D.D.; GRUTZMACHER, A.D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A.E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S.C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 632 – 637, 2008.

HAGER, A.G.; RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; PENNER, D. Soil moisture, relative humidity and bentazon affect imazethapyr absorption and translocation in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). **Weed Technology**, v. 13, n. 2, p. 320 – 323, 1999.

HAMID, Z.A.A.; MANSOR, M.; MAN, A. The effect of flooding on seed germination of weedy rice (*Oryza sativa* complex, locally called padi angin) under plant house condition. **Jurnal Biosains**, v. 18, n. 1, p. 23 – 33, 2007.

INFELD, J.A.; SILVA, J.B. da; ASSIS, F.N. de. Temperatura-base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 2, p. 187 - 191, 1998.

ISMAIL, A.M.; ELLA, E.S.; VERGARA, G.V.; MACKILL, D.J. Mechanisms associated with tolerance to flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa*). **Annals of Botany**, v. 103, n. 1, p. 197 – 209, 2009.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ – IRGA. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1329418135Area_Producao_e_Produtividade.pdf> Acesso em: 03 de maio de 2012.

KENT, L.M.; WILLS, G.D.; SHAW, D.R. influence of ammonium sulfate, imazapyr, temperature, and relative humidity on the absorption and translocation of imazethapyr. **Weed Science**, v. 39, n. 3, p. 412 – 416, 1991.

KUK, Y.I.; BURGOS, N.R.; SHIVRAIN, V.K. Natural tolerance to imazethapyr in red rice (*Oryza sativa*). **Weed Science**, v. 56, n. 1, p. 1 – 18, 2008.

LEON, C.T.; WEBSTER, E.P.; BOTTOMS, S.L.; BLOUIN, D.C. Water management and chemical control of red rice (*Oryza punctata*) in water-seeded imidazolinone-resistant rice. **Weed Science**, v. 22, n. 1, p. 132 – 135, 2008.

MACHADO, S.L.O.; MARCHESAN, E.; RIGHES, A.A.; CARLESSO, R.; VILLA, S.C.C.; CAMARGO, E.R. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 65 - 71, 2006.

MARCHESAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, v. 24, n. 2, p. 415 - 421, 1994.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G.M.S.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E.G.; MACEDO, V.R.M.; MARCHEZAN, M.G. Resíduos de agrotóxicos

na água de rios da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1053 – 1059, 2010.

MARINI, P.; MORAES, C.L.; MARINI, N.; MORAES, D.M.; AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 722 - 730, 2012.

MARIOT, C.H.P.; VIEIRA, V.M.; DA SILVA, P.R.F.; MENEZES, V.G.; OLIVEIRA, C.F.; FREITAS, T.F.S. Práticas de manejo integradas para produção de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 243 - 250, 2009.

MARTINI, L.F.D.; AVILA, L.A.; SOUTO, K.M.; CASSOL, G.V.; REFATTI, J.P.; MARCEHSAN, E.; BARROS, C.A.P. Lixiviação de imazethapyr e imazapic em função do manejo de irrigação do arroz. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 185 - 183, 2011.

MARTINI, L.F.D.; AVILA, L.A.; CASSOL, G.V.; ZANELLA, R.; MACHADO, S.L.O.; MARQUES, M.S.; DE VICARI, M. Transporte de agrotóxicos em lavouras de arroz irrigado sob três manejos de irrigação. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 799 – 808, 2012.

MCCULLOUGH, P. E; HART, S. E. Temperature influences Creeping Bentgrass (*Agrostis stolonifera*) and Annual Bluegrass (*Poa annua*) response to byspiribac-sodium. **Weed Technology**, v. 20, n. 3, p. 728 - 732, 2006.

MENEZES, V.G.; AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; SILVEIRA, C.A. Caracterização de biótipos de arroz vermelho em lavouras de arroz do estado do Rio Grande do Sul. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 221 - 227, 2002.

MENEZES, V.G.; MARIOT, C.H.P.; KALSING, A.; GOULART, I.C.G.R. Arroz-vermelho (*Oryza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 27, n. especial, p. 1047 - 1052, 2009.

NOLDIN, J.A.; CHANDLER, J.M.; KETCHERSID, M.L.; MCCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. II. Ecotype sensitivity to herbicides. **Weed Technology**, v. 13, n. 1, p. 19 – 24, 1999.

NORSWORTHY, J. K.; GRIFFITH, G.M.; SCOTT, R.C. Imazethapyr use with and without clomazone for weed control in furrow irrigated, imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technology**, v. 22, n. 2, p. 217 - 221, 2008.

PARLANTI, S.; KUDAHETTIGE, N.P.; LOMBARDI, L.; MENSUALI-SODI, A.; ALPI, A.; PERATA, P.; PUCCIARELO, C. Distinct mechanisms for aerenchyma formation in leaf sheaths of rice genotypes displaying a quiescence or escape strategy for flooding tolerance. **Annals of Botany**, v. 107, n. 1, p. 1335 – 1343, 2011.

PINTO, J.J.O.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; DAL MAGRO, T.; PROCÓPIO, S.O.; PINHO, C.F.; FERREIRA, R.A. Controle de capim-arroz (*Echinochloa spp.*) em função de métodos de manejo da cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 767 - 777, 2008.

POLGE, N.D.; BARRET, M. Temperature effects on imazaquin soil bioavailability, uptake and metabolism in corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 198 - 204, 1997.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília : AGIPLAN, 1977. 289p.

RAJGURU, S.N.; BURGOS, N.R.; SHIVRAIN, V.K.; MCD STEWART, J. Mutations in the red-rice ALS gene associated with resistance to imazethapyr. **Weed Science**, v. 53, n. 5, p. 567 - 577, 2005.

ROSO, A.C.; MEROTTO JR, A.; DELATORRE, C.A. Bioensaio para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 411 – 419, 2010.

SALDAIN, Nestor. **Emergence of red rice (*Oriza sativa*) ecotypes under dry and water-seeded rice conditions**. 1997. 117f. Thesis (Master of Science) Agronomy College, University of Arkansas, Fayetteville.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 104 - 114, 2005.

SANTOS, F.M.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S.L.O.; VILLA, S.C.C.; AVILA, L.A.; MASSONI, P.F.S. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 405 – 412, 2007.

SCHWANKE, A.M.L.; ANDRES, A.; NOLDIN, J.A.; CONCENÇO, G., PROCÓPIO, S.O. Avaliação de germinação e dormência de ecótipos de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 497 - 505, 2008.

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

SHIVRAIN, V.K.; BURGOS, N.R.; ANDERS, M.M.; RAJGURU, S.N.; MOORE, J.; SALES, M.A. Gene flow between ClearfieldTM rice and red rice. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 349 – 356, 2007.

SHIVRAIN, V. K.; BURGOS, N. R.; GEALY, D. R.; SMITH, K. L.; SCOTT, R. C.; BLACK, H. Red rice (*Oryza sativa*) emergence characteristics and influence on rice yield at different planting dates. **Weed Science**, v. 57, n. 1, p. 94 - 102, 2009.

SHIVRAIN, V.K.; BURGOS, N.R.; GEALY, D.R.; SALES, M.A.; SMITH, K.L. Gene flow from weedy rice (*Oryza sativa* L.) to cultivated rice and fitness of hybrids. **Pest Management Science**, v. 65, n. 2, p. 1124 – 1129, 2009.

SHIVRAIN, V.K.; BURGOS, N.R.; SALES, M.A.; KUK, Y.I. Polymorphisms in the ALS gene of weedy rice (*Oryza sativa* L.) accessions with differential tolerance to imazethapyr. **Crop Protection**, v. 29, n. 4, p. 336 – 341, 2010.

SILVA, D.R.O. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas do sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2383–2389, 2009.

SMITH JR, R.J.; FOX, W.T. Soil water and growth of rice and weeds. **Weed Science**, v. 21, p. 61-63, 1973.

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. In: Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. 28. Bento Gonçalves, 2010. Anais do... Bento Gonçalves, 2010. 188 p.

SONG, N.H.; YIN, X.L.; CHEN, C.F.; YANG, H. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere**, v.68, n.9, p. 1779–1787, 2007.

STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 627 - 630, 2002.

TOESCHER, C.F.; RIGHES, A.A.; CARLESSO, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 4, n. 1, p. 75 - 79, 1997.

VAUGHAN, L.K.; OTTIS, B.V.; PRAZAK-HAVEY, A.M., BORMANS, C.A.; SNELLER, C.; CHANDLER, J.M.; PARK, W.D. Is all red rice found in commercial rice really *Oryza sativa*? **Weed Science**, v. 49, n. 4, p. 468 – 476, 2001.

VILLA, S.C.C.; MARCHESAN, E.; MASSONI, P.F.S.; SANTOS, F.M.; AVILA, L.A.; TELO, G.M. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 549 – 555, 2006.

WATANABE, H.; TRA NGUYEN, M.H.; SOUPHASAY, K.; VU, S.H.; PHONG, T.K.; TOUNIZIBE, J.; ISHIHARA, S. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. **Agricultural and water management**, v. 88, n. 1, p. 132 - 140, 2007.

ZHANG, W.; WEBSTER, E.P.; MADGI SELIM, H. Effect of soil moisture on efficacy of imazethapyr in greenhouse. **Weed Technology**, v. 15, n. 2, p. 355 – 359, 2001.

Apêndices

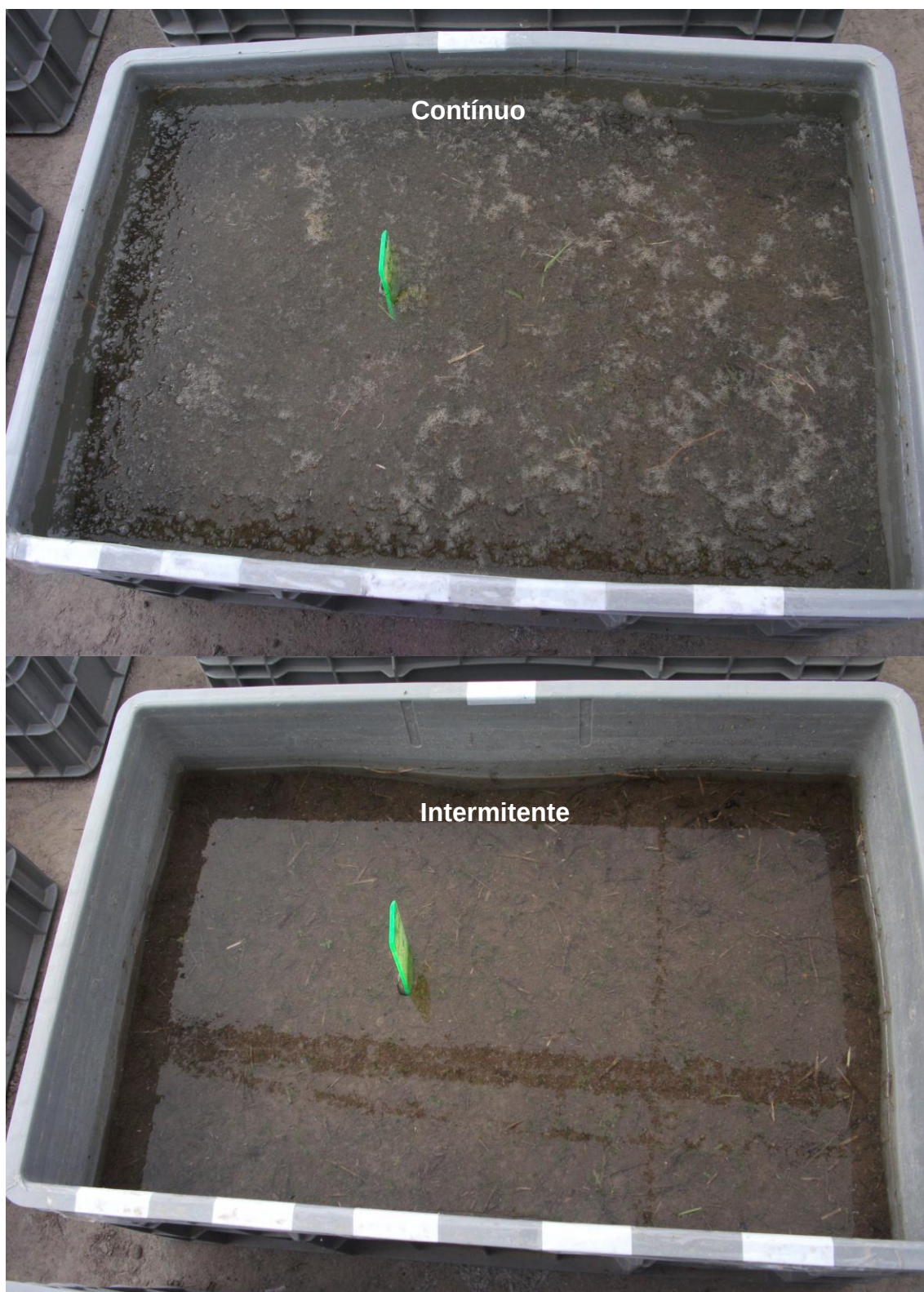
APÊNDICE A – Estádio das plantas de capim-arroz no momento da aplicação de pós-emergência



APÊNDICE B – Momento de reposição da lâmina de água no manejo de irrigação intermitente



APÊNDICE C – Manejos de irrigação utilizados no experimento de emergência de arroz-vermelho



VITA

Guilherme Vestena Cassol é filho de Florindo Vicente Cassol e Ananir Filomena Vestena Cassol, nascido em 06 de março de 1987, no município de Alegrete, Rio Grande do Sul. No ano de 2006 ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria, onde recebeu o título de Engenheiro Agrônomo em 2010. Durante a graduação foi estagiário e bolsista de iniciação científica FAPERGS do Grupo de Pesquisas em Arroz Irrigado, vinculado ao Departamento de Fitotecnia da UFSM. Foi aluno participante do programa de cooperação internacional CAPES/FIPSE realizando graduação sandwich na Mississippi State University. Em 2011, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, em Pelotas/RS.