

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

**Avaliação da resposta de genótipos de arroz irrigado a
herbicidas do grupo químico das imidazolinonas**

Gabriela de Magalhães da Fonseca

Pelotas, 2011

Gabriela de Magalhães da Fonseca

Avaliação da resposta de genótipos de arroz irrigado a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

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

Orientador: PhD. Antônio Costa de Oliveira – FAEM/UFPel

Co-orientador: Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior – EMBRAPA

Pelotas, 2011

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

F676a Fonseca, Gabriela de Magalhães da

Avaliação da resposta de genótipos de arroz irrigado a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas / Gabriela de Magalhães da Fonseca; orientador Antonio Costa de Oliveira; co-orientador Ariano Martins de Magalhães Júnior - Pelotas, 2011.-105f.: il. - Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

1. Arroz vermelho 2. Imidazolinona 3. Introgressão
4.Tolerância I. Costa de Oliveira, Antonio (orientador) I-
I.Título.

CDD 633.18

Banca Examinadora:

PhD. Antonio Costa de Oliveira - FAEM/UFPeI (presidente)

Dr. Maurício Marini Kopp - Embrapa/Pecuária Sul

Dr. Luciano Carlos da Maia - FAEM/UFPeI

Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior - Embrapa/Clima Temperado

Aos meus pais

José Inácio Dias da Fonseca e

*Adriane de Magalhães da Fonseca, presentes em todos os
momentos importantes,*

e aos meus irmãos

Roberta, Frederico e Marina

que com amor compartilham suas vidas comigo.

Dedico

Agradecimentos

Agradeço a Deus, e a essa força maravilhosa que vem orientando minha vida nos princípios do bem e do amor.

Agradeço a minha família que com amor e compreensão me permitiram na busca de uma educação continuada, me incentivando, estimulando e vibrando a cada conquista.

A minha prima Juliana de Magalhães Bandeira, que foi meu alicerce na elaboração deste trabalho, me auxiliando e, com paciência, contornando minhas angústias.

Ao meu orientador prof. PhD. Antonio Costa de Oliveira por me oportunizar este desafio, pela confiança, respeito e amizade. Pela generosidade e paciência em dividir seu conhecimento incentivando a qualificação.

Ao meu co-orientador pesquisador Dr. Ariano Martins de Magalhães Jr., que muito contribuiu em meu crescimento técnico e pessoal, me ajudando, orientando nas ações, esclarecendo dúvidas e incentivando na busca do aprimoramento, com atenção e carinho inigualáveis, e acima de tudo, por ser um exemplo a ser seguido, não só como profissional, mas como pessoa íntegra e maravilhosa.

Ao prof. Luciano Carlos da Maia pela transmissão de conhecimentos, apoio e incentivo constante.

Ao pesquisador da Embrapa Paulo Ricardo Reis Fagundes e ao Técnico Agrícola Alcides Cristiano Moraes Severo pelo auxílio constante, demonstrando sempre grande atenção, preocupação, disponibilidade e amizade.

À Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas – FAEM/UFPel, por ter disponibilizado sua estrutura física e equipe de profissionais para que realizasse o curso de mestrado.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/FAEM-UFPel, pela oportunidade de realização do curso. A CAPES, pela viabilização financeira deste projeto.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, pela utilização de sua estrutura física no desenvolvimento dos experimentos. Também, estendendo este agradecimento a todos os funcionários dessa instituição pelos conhecimentos práticos e pessoais que me repassaram.

Aos colegas e amigos pelo apoio e importante contribuição, pelo constante incentivo e participação no desenvolvimento deste trabalho, pelos agradáveis momentos de convivência e troca de experiências.

A todos que de alguma maneira peculiar contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

Guardo muito carinho por todos!

Resumo

FONSECA, GABRIELA DE MAGALHÃES DA. **Avaliação da resposta de genótipos de arroz irrigado a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.** 2011. 105f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O arroz vermelho (*Oryza sativa*) co-existe com o arroz cultivado em lavouras comerciais, sendo esse um dos principais entraves para o aumento da produtividade dessa cultura, já que essa invasora compete pelos mesmos recursos que as cultivares necessitam. A cultura do arroz é uma das mais importantes no mundo, considerada a principal fonte nutritiva para mais da metade da população mundial. Genes para resistência a herbicidas têm se tornado uma das opções mais utilizadas no mundo para o controle de invasoras, sendo que os herbicidas inibidores da enzima ALS, classe das imidazolinonas, são amplamente utilizados para o controle de plantas daninhas em diversas culturas. Esses inibidores de ALS são atualmente utilizados para o controle do arroz vermelho, sendo esta tecnologia denominada Clearfield[®]. Este trabalho objetivou o estudo de características morfológicas capazes de auxiliar na identificação de tolerância ao herbicida Only[®], em bioensaio em condições hidropônicas, e a introgressão de genes de tolerância ao herbicida inibidor de ALS em cultivares, através de hibridações controladas. Foram utilizados as cultivares de arroz BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL como padrão tolerante aos herbicidas imidazolinonas, e as cultivares BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira e BRS Atalanta, como padrão sensível. A variável inserção da primeira folha pode ser considerada uma variável apropriada para estudos, pois discrimina de maneira mais eficiente as diferentes respostas das constituições genéticas frente às doses utilizadas e aos períodos de desenvolvimento, podendo ser indicada para ser utilizada como marcador morfológico. A concentração de herbicida que possibilita melhor discriminação entre genótipos tolerantes e sensíveis é $25\mu\text{g L}^{-1}$, conforme metodologia descrita para esse bioensaio. Os resultados desse estudo mostram que os híbridos F_2 , resultantes de cruzamentos entre cultivares portadores do alelo de tolerância ao herbicida da classe das imidazolinonas e cultivares de arroz irrigado convencionais, são viáveis, possibilitando o estabelecimento de populações de arroz irrigado tolerantes ao herbicida, com maior capacidade de combater o arroz vermelho e com características de interesse agrônomo.

Palavras-chave: Arroz vermelho. Imidazolinona. Introgressão. Tolerância.

Abstract

FONSECA, GABRIELA DE MAGALHÃES DA. **Answer evaluation of irrigated rice genotypes exposed to herbicides of imidazolinone chemical group.** 2011. 105f. Thesis (Master) – Post-graduate Program in Agronomy. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The red rice (*Oryza sativa*) co-exists with the cultivated rice in commercial farmings, becoming one of the main limiting factors for the yield increase in this crop, since this weed competes for the same resources. The rice crop is one of the most important in the world, being the main nutritious source for more than half of the world's population. Genes for resistance to herbicides have become the best option for the control of this weed. Herbicides that inhibit the ALS enzyme, such as those from the imidazolinone chemical group, are commonly used for weed control in many crops. These ALS inhibitors are currently used for the control of red rice, which is known as Clearfield® technology. This work aimed to study the morphological features that can assist in identifying Only® herbicide tolerance in hydroponic bioassays, and introgression of ALS inhibitor herbicide tolerance genes in cultivars through artificial hybridizations. The rice cultivars used were BRS Sinuelo CL and Puitá INTA CL as imidazolinone herbicide tolerant, and the BRS Pampa, BRS Querência, BRS Atalanta and BRS Fronteira, as sensitive. The variable insertion of the first leaf can be considered an appropriate candidate for study because it discriminates more effectively the responses of different genetic constitutions. Taking in account the doses and periods of development, it can be recommended for use as a morphological marker. The concentration of herbicide that allows better discrimination between tolerant and sensitive genotypes is $25\mu\text{g L}^{-1}$ as described in the methodology for this bioassay. The results of this study show that F_2 hybrids resulting from crosses between cultivars carrying the allele for herbicide tolerance to the imidazolinone class and conventional rice cultivars, are feasible, enabling the establishment of populations with desirable agronomic characteristics of herbicide-tolerant rice, with higher ability to fight the red rice.

Keywords: Red Rice. Imidazolinone. Introgression. Tolerance.

Lista de Figuras

Capítulo I. Metodologia para caracterização de genótipos de arroz quanto à tolerância a herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas em cultivo hidropônico

- Figura 1** Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.....44
- Figura 2** Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.....50
- Figura 3** Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.....56

Figura 4 Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/ RS, 2011.....62

Capítulo II. Avaliação de cruzamentos para introgressão de gene de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Figura 1 Crescimento relativo médio em geração segregante (F₂) para avaliação de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas. As barras representam o erro padrão da média. Embrapa, Pelotas/RS, 2011.....78

Lista de Tabelas

Capítulo I. Metodologia para caracterização de genótipos de arroz quanto à tolerância a herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas em cultivo hidropônico

- Tabela 1** Resumo da análise de variância para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.....43
- Tabela 2** Estimativas de correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de submissão ao tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPeI-CGF, 2011.....48
- Tabela 3** Resumo da análise de variância para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.....49
- Tabela 4** Estimativas de correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de

herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de submissão ao tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPel-CGF, 2011.....54

Tabela 5 Resumo da análise de variância para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.....55

Tabela 6 Estimativas de correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de submissão ao tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPel-CGF, 2011.....60

Tabela 7 Resumo da análise de variância para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.....61

Tabela 8 Estimativas de correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de submissão ao tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPel-CGF, 2011.....66

Capítulo II. Avaliação de cruzamentos para introgressão de gene de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Tabela 1	Notas atribuídas à reação das linhagens de arroz irrigado ao efeito tóxico do herbicida em geração F ₂ . Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.....	74
Tabela 2	Percentagem de pega, número de sementes F ₁ obtidas e número e percentual de progênies F ₂ para cada cruzamento. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.....	75
Tabela 3	Tolerância ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas em populações F ₂ originadas de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao herbicida. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.....	77
Tabela 4	Resumo da análise de variância e teste de significância para a variável crescimento relativo de linhagens de arroz irrigado antes e após a aplicação do herbicida. Embrapa, Pelotas/RS, 2011.....	78
Tabela 5	Média das notas de fitotoxidez e desvio padrão após aplicação de herbicida da classe das imidazolinonas, para análise de cruzamentos, em relação ao genitor feminino como doador do gene de tolerância ao herbicida. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.....	79
Tabela 6	Média das notas de fitotoxidez e desvio padrão após aplicação de herbicida da classe das imidazolinonas, para análise de cruzamentos, em relação ao genitor masculino como doador do gene de tolerância ao herbicida. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.....	80

Sumário

Resumo	6
Abstract	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	10
1. Introdução geral	15
2. Revisão bibliográfica	18
2.1 A cultura do arroz	18
2.1.1 Importância econômica e social	18
2.1.2 Classificação botânica, origem e domesticação	19
2.1.3 Características morfológicas	21
2.2 Melhoramento Vegetal - Hibridação	23
2.3 Seleção de plantas através de cultivo hidropônico	26
2.4 Arroz daninho	28
2.5 Sistema de produção Clearfield®	29
2.6 Mecanismo de ação de herbicidas	31
2.7 Referências bibliográficas	33
3. Capítulo I. Metodologia para caracterização de genótipos de arroz quanto à tolerância a herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas em cultivo hidropônico	39
3.1 Introdução	39
3.2 Material e métodos	40
3.3 Resultados e discussão	42
3.4 Conclusão	68
3.5 Referências bibliográficas	69
4. Capítulo II. Avaliação de cruzamentos para introgressão de gene de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas	71
4.1 Introdução	71
4.2 Material e métodos	73
4.3 Resultados e discussão	75
4.4 Conclusão	81
4.5 Referências bibliográficas	82

5. Considerações Finais	84
6. Referências bibliográficas item 1 e Anexo	86
Apêndices	87
Anexo	100
Vitae	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do arroz tem grande importância social e econômica, sendo considerada uma fonte para amenizar a fome mundial. O arroz é um cereal que apresenta ampla adaptabilidade e capacidade produtiva nas mais variadas regiões e aliado ao contínuo esforço da pesquisa permite assegurar que permanecerá como importante produto de consumo pelo homem por um longo período. O aumento do consumo mundial de arroz tem gerado uma grande demanda em qualidade e produtividade desse grão. O sucesso das lavouras de arroz irrigado, bem como o de outras culturas, está diretamente relacionado com a melhoria de características desejáveis proporcionadas através dos programas de melhoramento genético.

O conhecimento e o espírito empreendedor do orizicultor na utilização de tecnologias mais apuradas de cultivo e a disponibilidade de cultivares de alto potencial produtivo, por parte da pesquisa, com características que atendam as exigências da cadeia agroindustrial do cereal, têm contribuído significativamente para a produção global brasileira de arroz.

As constantes mudanças nas condições edafoclimáticas, na preferência de mercado e na própria lavoura orizícola têm exigido criatividade e dinamismo no desenvolvimento de novas cultivares que atendam aos anseios da orizicultura. Na lavoura, a alta infestação de arroz vermelho tem requerido trocas nos sistemas de implantação por outros mais eficazes.

Os programas de melhoramento genético de arroz irrigado sempre foram de fundamental importância para a orizicultura, pois é a partir do melhoramento genético que as plantas adquirem características desejáveis, excluindo características indesejáveis para os produtores e consumidores (BERTAN, 2005). Em vista disso, programas de pesquisa em melhoramento genético de arroz irrigado conduzidos no Brasil, estão com estratégias metodológicas que visam desenvolver genótipos comerciais de alta e estável produtividade e com qualidade de grãos que atendam a preferência do mercado interno e externo.

Segundo dados da SOSBAI (2010), o arroz é alimento básico para cerca de três bilhões de pessoas no mundo, possuindo um excelente balanceamento nutricional, suprimindo 20% das calorias consumidas na alimentação das pessoas, desempenhando papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar.

Sendo atualmente o segundo cereal mais produzido no mundo (FAO, 2010), o arroz apresenta papel de destaque no Brasil, o primeiro país fora da Ásia em produção e consumo de arroz. O Estado do Rio Grande do Sul tem uma importância fundamental nesse contexto, sendo o principal produtor de arroz irrigado do país. No Estado, o cultivo irrigado representa a principal e mais produtiva forma de cultivo de arroz, sendo responsável por 61% da produção nacional (CONAB, 2010).

A ocorrência de plantas invasoras, especialmente o arroz vermelho, constitui um problema sério e limitante para a produtividade do arroz irrigado, principalmente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Avaliações preliminares têm mostrado que cultivares comerciais apresentam suscetibilidade aos herbicidas utilizados, o que tem restringido o seu uso em grandes áreas de cultivo. Além disso, o desenvolvimento de espécies invasoras resistentes aos herbicidas e a necessidade de utilização de produtos cada vez menos agressivos ao ambiente tornam necessário o desenvolvimento e validação de novos princípios ativos, com cultivares tolerantes, que atendam a essas exigências. Classes de herbicidas que agem especificamente em processos metabólicos vegetais, como aqueles da classe das imidazolinonas, são potencialmente mais seguros do ponto de vista ambiental (RANGEL et al., 2008). O produto comercial utilizado é composto por: imazetapir e imazapique. Imazetapir, classificação toxicológica III, é moderadamente adsorvido no solo e sua degradação não é preferencialmente microbiana, apresentando periculosidade para organismos aquáticos e efeitos adversos prolongados no ambiente aquático. Imazapique, classificação toxicológica II, é moderadamente persistente no solo, mas com baixa mobilidade; na água é solúvel, mas não degrada hidroliticamente, porém, fotodegrada rapidamente pela luz natural com uma meia vida de um a dois dias; apresenta baixa toxicidade para pássaros e animais, mas é moderadamente tóxico a peixes, não sendo registrado para uso em sistemas aquáticos (CURRAN et al., 1992; MILLS; WITT, 1989). Logicamente, a tolerância do arroz a esses novos compostos é condição determinante para o sucesso de sua incorporação no processo agrícola (RANGEL et al., 2008).

Os grãos de arroz vermelho estão entre as mais importantes sementes infestantes que diminuem o rendimento de engenho e depreciam o produto final do arroz cultivado (DIARRA et al., 1985). É considerado uma das mais importantes plantas daninhas em áreas produtoras de arroz no mundo (ELEFTHEROHORINOS; DHIMA, 2002). Após décadas de busca por alternativas para controle dessa planta daninha, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. Essa nova tecnologia associou cultivares de arroz tolerantes a herbicidas não seletivos ao arroz, constituindo-se numa estratégia eficiente para o controle de arroz vermelho (STEELE et al., 2002). Essa atual alternativa soluciona o problema através do controle químico do arroz vermelho em lavouras de arroz cultivado, porém a biodisponibilidade dos resíduos do herbicida comercial (imazetapir + imazapique) no solo traz inquietudes e transtornos para produtores que utilizam sua área com esse sistema dificultando a sucessão de cultivos convencionais (cultivares não tolerantes ao herbicida).

Considerando a necessidade e a importância de selecionar plantas de arroz irrigado que apresentem características de interesse agrônomo e tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia visando selecionar genótipos de arroz irrigado que apresentem características de tolerância a herbicidas através da identificação de marcador morfológico, dose de herbicida e tempo de avaliação adequados para a discriminação de genótipos tolerantes e sensíveis e avaliação de cruzamentos, obtidos através de hibridações controladas, para introgressão de gene de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, em geração F₂.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do arroz

2.1.1 Importância econômica e social

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais importante em nível mundial, considerando os aspectos sociais, econômicos e culturais. De acordo com a Organização Mundial de Alimentação e Agricultura (FAO) é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana e o principal alimento para mais da metade da população do mundo, desempenhando papel fundamental não apenas na luta contra a fome, mas também na contribuição para a geração de emprego e renda a bilhões de pessoas (FAO, 2010).

O arroz, no contexto mundial, encontra-se em segundo lugar como cereal mais cultivado, com uma produção em torno de 650 milhões de toneladas, sendo o milho, o cereal que apresenta a maior produção, cerca de 700 milhões de toneladas (FAO, 2010).

Atualmente, cerca de 90% do arroz mundial é produzido e consumido nos países asiáticos, o Brasil apresenta papel de destaque, sendo considerado o primeiro país fora da Ásia em produção e consumo de arroz. O Brasil também se destaca por sua importante participação no fornecimento do produto, tanto ao mercado interno quanto ao externo (IRGA, 2010).

A lavoura de arroz vem apresentando incremento em produtividade embora a expansão da área encontre dificuldades pela falta de terras apropriadas à cultura, principalmente para utilização com irrigação, uma vez que a maior parcela da produção de arroz vem do cultivo irrigado (CONAB, 2010).

O Rio Grande do Sul tem uma importância fundamental na produção de arroz do Brasil e MERCOSUL, ocupando uma área semeada de 1,084 milhões de hectares (safra 2009/10). A produtividade média de arroz no Estado supera 7,2t ha⁻¹, contra uma média de 2,3t ha⁻¹ no país (CONAB, 2010).

O crescente aumento e desenvolvimento da população mundial têm implicado em maior demanda de produção e alta qualidade do arroz produzido. Por outro lado, a orizicultura enfrenta muitas restrições, entre elas a escassez de água, terra e mão-de-obra, além de estresses bióticos e abióticos. Para enfrentar o desafio de aumentar a produção de arroz com características agronômicas e nutricionais desejáveis, com esses condicionantes, torna-se necessário o uso de novas tecnologias que agrupem biotecnologia e melhoramento convencional.

2.1.2 Classificação botânica, origem e domesticação

O arroz é uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C3, adaptada ao ambiente aquático, devido à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (SOSBAI, 2007). Pertence à divisão das angiospermas, grupo das monocotiledôneas, família Poaceae, tribo Oryzea e gênero *Oryza* (NCBI TAXONOMY, 2010). O nome científico *Oryza* foi dado por Linnaeus à planta e vem de um termo grego muito antigo designativo do arroz, esse termo provém do árabe ou do chinês e significa “bom grão da vida” (BOTELHO, 1914). O arroz é mencionado, diversas vezes, em escrituras chinesas e hindus, sua taxonomia, como a de outras espécies, foi e continua sendo objetivo de discussão. Chang (1985) reconheceu somente 20 espécies, entretanto, Vaughan (1989) afirmou que o número de espécies classificadas em diferentes estudos varia de 20 a 30.

As gramíneas provavelmente originaram-se na era Mesozóica e evidências circunstanciais sugerem que tenha sido em clima tropical e, então, uma série de linhas evoluíram e adaptaram-se a vários habitats. Taxonomicamente, o arroz engloba duas tribos de importância alimentar: Ziziniaceae e Oryzaceae. A tribo Oryzaceae, que contém o gênero *Oryza*, tem mais de vinte espécies classificadas, com destaque para duas cultivadas: *Oryza glaberrima* Steud. (arroz cultivado africano) e *Oryza sativa* (arroz cultivado asiático).

O número básico de cromossomos do arroz *O. sativa* é 12 ($2n=24$), porém existem espécies poliplóides com $2n=48$. As duas espécies cultivadas e seus respectivos ancestrais possuem o mesmo genoma AA, pois seus híbridos não apresentaram nenhum distúrbio cromossômico significativo (MORISHIMA et al., 1992).

Postula-se que o arroz asiático (*O. sativa*) seja originário da Ásia. Segundo alguns historiadores, sua origem deu-se provavelmente na Índia, mais precisamente ao sul, onde se encontram condições de solo mais favoráveis para o seu cultivo (PEREIRA, 2002). Escritos índicos de 1300 e 1000 anos a.C. descrevem certas práticas agronômicas, como o transplante, e exibem uma classificação agronômica e alimentícia do arroz (MAGALHÃES JR e COSTA de OLIVEIRA, 2008). Admite-se que o arroz se propagou desde o sudeste asiático e Índia, até a China, há cerca de 3000 anos a.C., da China, o arroz foi introduzido na Coreia e depois no Japão. É igualmente provável que, do sul da China, o arroz foi introduzido nas Filipinas, onde é cultivado há 2000 anos. Paralelamente, através do sul da Índia, pela rota da Malásia, o arroz foi propagado na Indonésia, onde documentos comprovam seu cultivo a mais de 1800 anos a.C.. Também a partir da Índia, o arroz chegou ao Ceilão, onde foi cultivado primeiramente no sistema de sequeiro (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004). A introdução de *O. sativa* na Ásia Ocidental e no Mediterrâneo é mais recente e deu-se durante o Império Persa (SILVA, 1956). A continuação de sua implantação estendeu-se à Turquia e Síria. A chegada desse cultivo na Grécia, Irã e Babilônia, segundo alguns historiadores, deu-se em consequência das invasões de Alexandre Magno, no ano 320 a.C.. A expansão do cultivo pelos árabes foi muito importante, sendo levado para Marrocos e Espanha, de onde se espalhou para vários países vizinhos. Posteriormente, foi introduzido na América pelos espanhóis e, no Brasil, pelos portugueses, onde se tornou um dos principais alimentos de consumo interno (MAGALHÃES JÚNIOR; COSTA de OLIVEIRA, 2008). Os mesmos autores consideram que o arroz africano (*O. glaberrima* Steud.) teve origem na África Ocidental, onde se encontra praticamente restrita sua área de exploração e consumo, mais precisamente no Delta Central do Níger. Segundo alguns historiadores, há evidências de que o cultivo desse arroz tenha começado cerca de 1500 anos a.C.. Posteriormente, com a introdução do arroz asiático pelos portugueses e holandeses na costa da África Ocidental, ocorreu substituição do cultivo do arroz africano pelo asiático, em função da sua melhor adaptação e por apresentar cariopse branca, uma vez que, de uma maneira geral, o *O. glaberrima* possui cariopse com coloração vermelha.

Presume-se que essas duas espécies de arroz cultivado, o asiático e o africano, devam ter um ancestral comum, mas não há, até o momento, um consenso

quanto à conexão evolucionária entre eles. Tem sido proposto, como provável genitor comum, o arroz *O. perennis*. Porém, qualquer que seja seu ancestral comum, parece claro que as duas formas de domesticação ocorreram de modo paralelo e independente (PEREIRA, 2002). Três subespécies de *O. sativa* estão descritas atualmente, sendo *indica* e *japonica* as mais cultivadas, seguidas pela terceira subespécie conhecida como *javanica* ou *japonica tropical* (LONDO et al., 2006). Estudos, utilizando marcadores moleculares, apontam a espécie *Oryza rufipogon* encontrada na China como o ancestral comum que originou as subespécies *japonica* e *javanica*, presumindo que o centro de origem do arroz possa ter sido a China (BAUTISTA et al., 2001).

2.1.3 Caracterização Morfológica

A capacidade de produção do arroz é o resultado da interação de diferentes características morfo-fisiológicas, governadas por um número determinado de genes (PESKE et al., 1998). O arroz cultivado, embora pareça ter sido originado de uma forma perene, é considerado uma gramínea semi-aquática anual (TERRES, 1998). Contudo, em regiões tropicais, pode sobreviver como planta perene, produzindo novos afilhos após a colheita. A estatura de plantas pode variar de acordo com as cultivares e as condições ambientais, em um gradiente que pode variar de 20cm a alturas acima de 5 m, como é o caso do arroz aquático. Quanto a sua morfologia o arroz pode ser dividido em órgãos vegetativos, compreendendo raízes, colmos e folhas, e órgãos reprodutivos, constituídos pelas flores e sementes (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A planta de arroz possui dois tipos de raízes, a seminal (apenas uma) e as secundárias ou adventícias. A raiz seminal desenvolve-se a partir do primórdio, já existente no embrião, e sobrevive por curto espaço de tempo após a germinação da semente, dando lugar as raízes secundárias, que se formam dos nós já existentes no embrião e dos que se formam no decorrer do desenvolvimento da planta. Envolvendo o primórdio da raiz seminal encontra-se a coleorriza. Durante a germinação a epiderme da coleorriza tem a capacidade de absorver água rapidamente, fazendo com que a mesma entumeça e emerja da cariopse. Em

seguida, a coleorriza é rompida pela raiz seminal e concomitantemente, emergem os pêlos absorventes (PESKE et al., 1998).

Após a germinação, as plantas começam a emitir afilhos, cujo número pode variar de dois ou três até mais de vinte. De modo geral, 60 dias após a germinação, cada afilho começa a emitir uma panícula com grãos. O sistema radicular pode ser superficial ou profundo, dependendo da variedade (GALLI et al., 1985).

As raízes secundárias têm sua origem na região da coroa, que é formada basicamente por nós, cujos entrenós não sofreram alongamento. As três primeiras raízes surgem da parte inferior do nó do coleóptilo, desenvolvendo-se por um período de aproximadamente três dias após a emergência da raiz seminal, após dois dias originam-se mais duas raízes secundárias, originadas da parte superior do nó do coleóptilo. Essas cinco raízes secundárias, juntamente com a raiz seminal, têm a função de fixar a planta no solo e supri-la de água e minerais (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

Normalmente, o maior número de raízes secundárias ocorre no estágio de emergência da panícula. As características do sistema radicular variam de acordo com os genótipos, bem como com as condições de ambiente nas quais as plantas estão expostas (GALLI et al., 1985).

O sistema radicular é de fundamental importância para a cultura do arroz, uma vez que seu aprofundamento é desejável tanto para aumentar a área de exploração das raízes quanto para melhorar a fixação da planta ao solo (CARMONA et al., 2001).

Os colmos são formados a partir dos nós e entrenós, sendo a altura das plantas dependente do número e comprimento dos entrenós. As folhas, quando completas, são constituídas de bainha, colar e lâmina. A primeira folha a surgir no colmo principal ou nos afilhos não possui bainha, sendo denominada perfilo. A última folha a surgir é denominada de folha-bandeira. Cerca de 40 a 65 dias da emergência das plântulas ocorre a diferenciação do primórdio floral, dependendo dos genótipos e das condições ambientais. A partir dessa etapa, inicia a fase reprodutiva da planta. O período de emissão da panícula de uma mesma planta estende-se por aproximadamente sete dias (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A semente é formada por um processo que inicia com a polinização, seguido pela fecundação, passando pelo enchimento da semente, culminando com a maturação. (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz. Cada fase fenológica da planta tem as suas temperaturas ideais: a temperatura ótima para a germinação situa-se na faixa de 20 a 35 °C, para a floração de 30 a 33°C e para a maturação de 20 a 25°C. O arroz não tolera temperaturas muito baixas nem muito altas, entretanto, a sensibilidade da planta varia em função da fase fenológica. Para expressão de seu potencial produtivo, a cultura requer temperatura ideal e radiação solar elevada, considerando que a disponibilidade hídrica não é um fator limitante quando cultivada em condição de solo inundado (SOSBAI, 2010).

O ciclo de desenvolvimento do arroz pode ser dividido em três fases principais, a saber: plântula, vegetativa e reprodutiva, conforme escala proposta por Counce et al. (2000). A duração de cada fase é função da cultivar, época de semeadura, região, cultivo e das condições de fertilidade do solo. A duração do ciclo varia entre 100 e 140 dias para a maioria das cultivares utilizados no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo que a maior parte da variação entre cultivares ocorre na fase vegetativa (SOSBAI, 2007).

2.2 Melhoramento Vegetal e Híbridação Artificial

O melhoramento genético vegetal é considerado um dos grandes responsáveis pelos avanços na agricultura, com o desenvolvimento de cultivares superiores, mais produtivos e melhor adaptados a condições adversas (pragas, moléstias, seca, frio, salinidade, competição com plantas daninhas, toxidez por alumínio, ferro, ácidos orgânicos, herbicidas, entre outros), as quais restringem a expressão do potencial produtivo das cultivares. Os programas de melhoramento buscam constantemente por constituições genéticas superiores que apresentem maior potencial genético para produtividade.

Novas cultivares de arroz irrigado são obtidos através de processos e técnicas de melhoramento que possibilitam aos pesquisadores selecionar os melhores indivíduos através do fenótipo e, com ferramentas de biotecnologia (marcadores moleculares), diretamente através do genótipo, o que oferece maior segurança, pois

a influência do ambiente, nesse caso, é muito reduzida. Os programas de melhoramento genético de arroz irrigado, responsáveis pelo lançamento de novas cultivares, sempre foram de fundamental importância para a orizicultura gaúcha, pois é a partir do melhoramento genético que as plantas adquirem características desejáveis, excluindo características indesejáveis para os produtores e consumidores.

Para obter e explorar a variabilidade no programa de melhoramento de arroz irrigado é imprescindível ao melhorista conhecer qual a constituição genética das populações com que trabalha e decidir quais genitores serão utilizados no programa de hibridação controlada. Essa é uma das decisões mais importantes, porque o sucesso do programa depende diretamente da escolha dos genitores.

As características do arroz agrupam-se em: qualitativas, que definem a espécie ou a variedade, são controladas por poucos genes, apresentam alta herdabilidade, são facilmente visíveis e não se alteram, ou são pouco influenciadas pelo ambiente; e quantitativas, que geralmente são controladas por vários genes, apresentam baixa herdabilidade e são influenciadas pelas condições ambientais e fenológicas como: data de floração, ciclo cultural e momento de colheita, características que podem variar de uma região para outra, em função do fotoperíodo e da temperatura (FONSECA et al., 2008).

A decisão de onde, como e quando deve ser iniciado o processo de seleção depende de vários fatores. De modo geral, a seleção para características associadas ao rendimento de grãos e comportamento agrônômico (quantitativas) deve ser realizada em ambientes uniformes, que representem as características da região ou regiões, para a qual o nova cultivar está sendo selecionado. Para avaliar características qualitativas, como tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (característica controlada por um único gene dominante) (MAZUR; FALCO, 1989; SAARI et al., 1994), os programas de melhoramento simulam efeitos sobre as plantas em seleção.

No melhoramento convencional, as maiores dificuldades para obtenção dos genótipos de interesse do melhorista encontram-se na manipulação das características quantitativas, ou seja, aqueles de herança complexa, que possuem reduzida herdabilidade em virtude do grande número de genes que os controlam. A eficiência de seleção, nesse caso, é determinada por vários aspectos,

principalmente pela participação direta do ambiente na expressão do caráter, acarretando dificuldades na identificação dos indivíduos superiores. Por outro lado, é de conhecimento do melhorista que essas características apresentam variação contínua em populações segregantes, determinando a formação de classes genóticas distintas, e conseqüentemente oportunizando maior possibilidade de seleção (CARVALHO et al., 2001). Para características quantitativas, como rendimento de grãos, qualidade determinada pela interação de muitos pares de genes com o meio ambiente, a seleção vai desde as primeiras gerações (F_2 e F_3) até as mais avançadas (F_5 - F_7). Já para características qualitativas, aquelas governadas por um ou poucos genes, como ausência de pilosidade em arroz, qualidade importante para a lavoura e indústria do arroz, o ambiente tem pouca influência e a herdabilidade é alta. Nesses casos, a seleção é realizada nas gerações mais precoces do processo de melhoramento (F_2 e F_3) EMBRAPA, 2010.

Para a obtenção de genótipos superiores o melhoramento genético de plantas requer três etapas fundamentais: presença da variabilidade genética, eficiência na seleção dos genótipos mais promissores e ajuste das melhores constituições genéticas ao ambiente de cultivo. Entretanto, a identificação dessa variabilidade não é um processo fácil, visto que, ao avaliar a expressão de um determinado caráter, muitas vezes sua manifestação vem mascarada pelo efeito do ambiente, ou ainda, por interações alélicas ou gênicas. Esses fatos tornam o trabalho de seleção do melhorista mais complicado, exigindo que algumas investigações sejam repetidas por vários anos e em locais distintos, no intuito de lograr a ação do ambiente (CARVALHO et al., 2003).

A hibridação é um processo que permite a união de espécies, gerando híbridos. A adaptação de um híbrido nas condições ambientais existentes nem sempre é imediata, nesse caso, a melhoria na adaptação pode ser obtida por retrocruzamento desses híbridos com os genitores. À medida que ocorrem os retrocruzamentos, os genótipos recombinantes tornam-se mais semelhantes às populações dos genitores e, assim, ficam mais adaptados. Através desse processo novos genes e novas combinações de genes são transferidos de uma espécie para a outra, aumentando a possibilidade de formar combinações novas de genes e incrementar a variabilidade e adaptação. A hibridação caracteriza o fenômeno da introgressão de genes em plantas (RAMALHO, 2008).

O sucesso de um programa de melhoramento genético depende fundamentalmente das etapas citadas anteriormente que podem ser auxiliadas e aceleradas por meio da utilização mais efetiva dos marcadores moleculares. Atualmente, técnicas da biotecnologia, como os marcadores moleculares, têm sido utilizadas como estratégias auxiliares na superação dessas dificuldades, pois seu uso associado a genes de interesse torna possível a identificação de genótipos portadores de alelos promissores sem a ação do ambiente (MAIA, 2007).

É necessário dar atenção aos estudos genéticos das características agronômicas, como forma de avaliar o potencial genético dos genitores para produzir descendentes superiores e de aumentar a eficiência dos métodos de melhoramento (TAVARES et al., 1999).

2.3 Seleção através de Cultivo Hidropônico

O termo hidroponia vem da junção das palavras de origem grega: *hydro* (água) e *ponos* (trabalho), assim, cultivo hidropônico, literalmente, significa trabalho na água ou cultivo na água. Trata-se de um sistema de cultivo em que as plantas se desenvolvem sem a utilização de solo, sendo alimentadas por uma solução nutritiva, ou seja, água onde são dissolvidos os sais, nutrientes essenciais para as plantas. Essa técnica difundida na época da Segunda Guerra Mundial está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal, principalmente de hortaliças sob cultivo protegido. No sistema hidropônico, podem ser produzidas hortaliças, frutas, flores, cereais e plantas medicinais. (GRAVES, 1983; JENSEN; COLLINS, 1985; RESH, 1996).

O desenvolvimento das técnicas de cultivo protegido, nas últimas décadas, trouxe a possibilidade de controlar algumas condições ambientais como a incidência de chuva, as baixas temperaturas, dentre outras e, com isso, contribuiu para o desenvolvimento da hidroponia, técnica realizada exclusivamente em ambiente protegido. Esse sistema vem se expandindo, também, em virtude de pesquisas em técnicas mais eficientes de produção, na criação de equipamentos apropriados e na pesquisa sobre nutrição de plantas, com criação de fórmulas específicas para diversas culturas.

No século XIX, vários pesquisadores cultivaram plantas com raízes imersas em solução nutritiva contendo sais inorgânicos. A demonstração de que as plantas se desenvolveriam normalmente sem solo ou matéria orgânica provou que suas necessidades podem ser supridas usando apenas elementos inorgânicos e luz. Essa técnica de avaliação requer ajustes frequentes, impedindo que a absorção de nutrientes pelas raízes produza alterações nas concentrações dos elementos e no pH do meio. As primeiras formulações desenvolvidas por Knop, na Alemanha, dispunham somente de KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 e sal de ferro, já que naquela época os estudiosos acreditavam que tal solução nutritiva continha todos os minerais necessários ao desenvolvimento das plantas. Atualmente, a solução nutritiva contém, além desses, uma série de outros elementos químicos, principalmente os diferentes micronutrientes que são fundamentais no desenvolvimento normal e regular das plantas em sistema hidropônico, recebendo o nome de solução de Hoagland, em homenagem a Denis R. Hoagland, estudioso que se destacou por pesquisas modernas em solução mineral nos Estados Unidos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para o arroz, Yoshida et al. (1981) criou um protocolo que estabelece uma solução nutritiva adequada para a cultura constituída pelos elementos minerais necessários ao crescimento rápido das plantas com concentrações estabelecidas de modo a não permitir toxicidade nem estresse.

Quando há interesse em avaliar os efeitos nas plantas decorrentes da presença de algum elemento na solução do solo, adiciona-se esse elemento à solução nutritiva em diferentes concentrações, permitindo avaliar tolerância e sensibilidade, objetivando selecionar genótipos em ambiente controlado.

A identificação e caracterização da variabilidade genética é o passo inicial e de fundamental importância para o melhoramento genético vegetal. Técnicas de avaliações de genótipos em ambientes controlados, com o uso de soluções nutritivas, têm sido amplamente utilizadas para caracterização de genótipos a diversos estresses (DUNCAN; BALIGAR, 1990).

Enquanto a avaliação de genótipos em ambientes artificiais não leva em consideração as reais pressões do meio (DUNCAN; BALIGAR, 1990), a seleção em ensaios de campo reúne grande número de variáveis não controladas, tais como tolerâncias diferenciais a estresses climáticos, bióticos ou nutricionais (WRIGHT,

1989). Correlações significativas entre variáveis coletadas em testes de campo e em ambientes artificiais, com solo ou solução nutritiva, são relatadas por Bilinski; Foy (1987) em diversas gramíneas.

A hidroponia proporciona condição de ambiente homogêneo tornando-se uma eficiente técnica de isolamento dos efeitos decorrentes da existência de outros fatores bióticos e abióticos encontrados no solo, possibilitando avaliar o efeito específico do fator de interesse com precisão e confiabilidade.

2.4 Arroz daninho

O arroz vermelho (*O. sativa*) co-existe com o arroz cultivado em lavouras comerciais, sendo um dos principais entraves para o aumento da produtividade dessa cultura, já que esta invasora compete pelos mesmos recursos que as cultivares necessitam (luz e nutrientes) (MARCHEZAN, 1994; MARCHEZAN et al., 2004). Embora o arroz vermelho apresente características fenotípicas altamente variáveis, possui traços de espécies não domesticadas do gênero *Oryza*, incluindo os mecanismos de dispersão de sementes (degrane das sementes e a presença de aristas), dormência das sementes e pigmentação escura no pericarpo, que nesse caso, é avermelhado. No entanto, ao contrário das espécies verdadeiramente selvagens, o arroz vermelho está melhor adaptado para se desenvolver em áreas agrícolas, onde mimetizam e/ou competem com cultivares (OLSEN et al., 2007).

A presença dessa planta daninha, em áreas de cultivo, causa prejuízos de ordem econômica, social e ambiental. Entre os principais prejuízos econômicos encontram-se o aumento do custo de produção, a redução do rendimento de grãos associado a sua depreciação, além da oferta de abrigo para pragas e patógenos. O prejuízo social abrange a redução de área cultivada assim como a sua desvalorização. Dentre os prejuízos ambientais, encontram-se as práticas de manejo que visam reduzir as infestações de arroz daninho, como por exemplo, a drenagem da lavoura e o excesso de revolvimento do solo.

Há similaridade entre as espécies cultivadas e daninhas em relação a características fisiológicas e bioquímicas, o que impossibilita o controle (KWON et al., 1991), quando são cultivadas variedades convencionais não tolerantes a herbicidas fitotóxicos para o arroz vermelho. Essa similaridade torna a competição

exercida pela espécie daninha mais severa (FLECK, 1980), em função da maior adaptação e rusticidade da planta daninha no ambiente quando comparada à espécie cultivada.

A frequência com que ocorrem cruzamentos naturais entre o arroz vermelho e o arroz cultivado é variável e depende da coincidência de florescimento entre os mesmos e da distância entre as plantas (YOSHIDA, 1981). Nesse sentido, esta mudança de característica de alguns biótipos de arroz vermelho, que cada vez mais se aproximam, em termos de ciclo biológico, das cultivares modernos, refletem, em parte, o atual quadro verificado na orizicultura do Rio Grande do Sul, onde são encontradas populações de arroz vermelho com características similares aas cultivares, incluindo o ciclo biológico total, o porte da planta e espiguetas com coloração palhete, douradas ou pretas, sem arista e longo-finas, típicas de cultivares modernos do grupo índica (AVOZANI et al., 1998; MENEZES et al., 2002; SCHWANKE et al., 2008).

As características predominantes de planta e semente dos biótipos de arroz vermelho que os distinguem das cultivares de arroz são: ciclo mais longo e plantas de porte mais alto do que as cultivares modernos, colmos finos, folhas de cor verde-claro e decumbentes, alto vigor e alta capacidade de afilhamento com emissão de afilhos "ontogenicamente atrasados", pericarpo de cor avermelhada, pálea e lema com variação de cor, pilosidade e aderência da pálea e lema no pericarpo, presença ou não de arista, deiscência precoce das espiguetas e sementes com dormência (DIARRA et al., 1985; NOLDIN et al., 1999).

2.5 Sistema de Produção Clearfield®

A similaridade existente entre o arroz vermelho e o arroz cultivado, até recentemente, impedia o controle seletivo dessa planta daninha com herbicidas. O controle químico, embora eficiente, causava grande fitotoxicidade ao arroz cultivado (NOLDIN et al., 1999b). O manejo de arroz vermelho era realizado com outros métodos, como uso de sementes de arroz isentas de arroz vermelho, arranque manual, uso de sementes pré-germinadas, preparo antecipado do solo com semeadura direta e emprego de rotação de culturas (AGOSTINETTO et al., 2001).

Após décadas de busca por opções para controle de arroz vermelho, desenvolveram-se genótipos de arroz tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, inibidores da enzima ALS, o que possibilitou o controle do arroz vermelho de forma seletiva à cultura (STEELE et al., 2002). A variabilidade para esse caráter foi obtida por mutação induzida de sementes de arroz da linhagem AS3510 que foram mutagenizadas com etilmetanossulfonato (EMS) (CROUGHAN, 1996). Essa linhagem, denominada 93AS3510, originou as primeiras cultivares resistentes a imidazolinonas comercializadas nos EUA no ano de 2001 (WEBSTER; MASSON, 2001). Essas cultivares permitem a utilização dos herbicidas imidazolinonas para o controle de diversas plantas daninhas na cultura do arroz, inclusive o arroz vermelho.

No Brasil, a tecnologia Clearfield[®] foi introduzida pela BASF S. A., que formalizou parcerias com as Instituições/Empresas envolvidas com o melhoramento genético de arroz. A primeira cultivar de arroz resistente aos herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas lançado foi a cultivar IRGA 422 CL, em 2002, o qual foi desenvolvido pela seleção de retrocruzamento, utilizando a linhagem 93AS3510 como fonte doadora do gene que confere tolerância ao herbicida, e a cultivar IRGA 417 como cultivar recorrente. Posteriormente, alguns híbridos foram lançados no mercado nacional pela RiceTec, e outras cultivares como SCS 115 CL disponibilizada pela Epagri em 2007, Puitá INTA CL pela BASF em 2008 e BRS Sinuelo CL pela Embrapa Clima Temperado em 2010 (LOPES et al., 2009; SOSBAI, 2010).

O sistema de produção Clearfield[®] baseia-se na resistência genética a alguns herbicidas do grupo químico das imidazolinonas e foi desenvolvido para auxiliar no controle do arroz vermelho. Todas as cultivares recomendadas para esse sistema são identificadas com o sufixo "CL" e podem ser cultivares convencionais ou híbridos (SOSBAI, 2010).

Para esse sistema de produção são recomendados os herbicidas Only[®] e Kifix[®] que apresentam elevada eficiência no controle seletivo de arroz vermelho em lavoura de arroz propiciando níveis de controle superiores a 95%. Para o herbicida Only[®] recomenda-se a aplicação sequencial em doses de 0,75L ha⁻¹, em pré-emergência e pós-emergência precoce, totalizando 1,5L ha⁻¹, quando as plantas de arroz encontram-se no estágio de 3 a 4 folhas. Inicialmente, após a pulverização do

herbicida Only[®], podem ser observados sintomas de toxicidade nas plantas de arroz, variáveis de moderado a relativamente elevado (SOSBAI, 2010).

O sistema Clearfield[®] não se intitula uma solução única para eliminar totalmente as infestações de arroz vermelho, ele se consolida como ferramenta adicional à disposição dos agricultores para ser complementado com outras técnicas de manejo. O sucesso dessa tecnologia depende de três condições básicas: sementes de qualidade, uso do herbicida recomendado e adoção de um programa de monitoramento de infestações de arroz vermelho nas lavouras (SOSBAI, 2010).

2.6 Mecanismo de Ação de Herbicidas

O controle de plantas daninhas com herbicidas é prática comum na agricultura. O uso indiscriminado de herbicidas propiciou o desenvolvimento de muitos casos de resistência a tais compostos por diversas espécies daninhas (BURNSIDE, 1992).

A atividade biológica de um herbicida na planta ocorre de acordo com a absorção, translocação, metabolismo e sensibilidade da planta a esse herbicida e/ou a seus metabólitos. Por isso, o simples fato de um herbicida atingir as folhas e/ou ser aplicado no solo não é suficiente para que ele exerça a sua ação. Há necessidade de que ele penetre na planta, transloque e atinja a organela onde irá atuar. Um mesmo herbicida pode influenciar vários processos metabólicos da planta, entretanto a primeira lesão biofísica ou bioquímica que ele causa na planta é caracterizada como o seu mecanismo de ação. A sequência de todas as reações até a ação final do produto na planta caracteriza o seu modo de ação (FERREIRA et al., 2005).

Para o controle do arroz vermelho que é a principal planta daninha na lavoura de arroz irrigado (ELEFTHEROHORINOS; DHIMA, 2002) utiliza-se o sistema Clearfield[®], ferramenta eficiente para o controle dessa planta daninha (STEELE et al., 2002). Nesse sistema, são utilizados herbicidas do grupo das imidazolinonas em cultivares tolerantes.

As imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo poáceas, ciperáceas e latifoliadas. Esses herbicidas são absorvidos pelas raízes e folhas das plantas, sendo transportados pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento. O controle é proporcionado pela inibição da enzima

acetolactato sintetase (ALS), essencial no processo de síntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina). O efeito fitotóxico das imidazolinonas é causado pela deficiência desses aminoácidos, provocando a diminuição na síntese de proteínas e de DNA, afetando assim a divisão celular e a translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. Esses processos provocam paralisação do crescimento, amarelecimento dos meristemas e redução do sistema radicular (as raízes secundárias apresentam-se curtas e uniformes) e cloroses entre as nervuras foliares (SHANER; SINGH, 1993; TAN et al., 2006).

O herbicida Only[®], utilizado no sistema Clearfield[®], é composto pela mistura formulada de imazetapir (75 gramas do ingrediente ativo por litro de produto comercial) e imazapique (25 gramas do ingrediente ativo por litro de produto comercial) que tem como mecanismo de ação a inibição da ALS (FONTANA et al., 2007). As plantas sensíveis tornam-se cloróticas, definham e morrem no prazo de 7 a 14 dias após o tratamento. Apesar do pouco tempo de uso, diversos genótipos de espécies de plantas daninhas já adquiriram resistência aos herbicidas inibidores da ALS (FERREIRA et al., 2005).

A resistência a imidazolinonas é conferida por um gene dominante nuclear (MAZUR; FALCO, 1989; SAARI et al., 1994). O mecanismo de resistência a esses inibidores da ALS é atribuído principalmente a uma alteração na sequência de DNA do gene que codifica a enzima ALS (HINZ; OWEN 1997; SAARI et al., 1994; TRANEL; WRIGHT, 2002), com um ou vários pontos de mutações (SUBRAMANIAN et al., 1996). Diversos pontos de mutações que conferem resistência a esses herbicidas foram identificados em muitas espécies de plantas (GRESSEL, 2002; TRANEL; WRIGHT, 2002).

Nos últimos anos tem sido reportados casos de escape gênico de cultivares resistentes para o arroz vermelho (SHIVRAIN et al., 2006; ZHANG et al., 2006; SHIVRAIN et al., 2007; ZHANG et al., 2008).

2.7 Referências Bibliográficas

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de manejo. **Ciência Rural**, v.31, n.2, p.341-349, 2001.

AVOZANI, O. A. et al. Caracterização genética de biótipos de arroz vermelho com marcadores moleculares RAPD, EEA/IRGA. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO SOBRE ARROZ VERMELHO. **ANAIS**. Porto Alegre: IRGA/FLAR, 1998. p.55-56.

BAUTISTA, N. S. et al. RAPD, RFLP and SSLP analyses of phylogenetic relationships between cultivated and wild species of rice. **Genes & Genetic Systems**, v.76, n.2, p.71-79, 2001.

BILINSKI, J. J.; FOY, C. D. Differential tolerances of oat cultivars to aluminum in nutrient solutions and in acid soils of plant. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, n.2, p.129-141, 1987.

BOTELHO, C. **O Arroz**. Typografia Levi, p.525, 1914.

BURNSIDE, O. C. Rationale for developing herbicide-resistant crops. **Weed Technology**, v.6, n.3, p.621-25, 1992.

CARMONA, R. C. et al. Crescimento e distribuição de raízes de arroz irrigado em áreas com e sem rizipiscultura. In: **II Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXIV Reunião Da Cultura Do Arroz Irrigado**. Porto Alegre, 2001. 213p.

CARVALHO, F. I. F. et al. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção**. Pelotas: UFPel, 2001. 99p.

CARVALHO, F. I. F. et al. **Condução de populações no melhoramento genético de plantas**. Pelotas: UFPel, 2003. 230p.

CHANG, T. T. Crop history and genetic conservation: rice – a case study. **Iowa State Journal Research**, v.59, n.4, p.425-455, 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, agosto 2010, Brasília. 42p. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 24 janeiro 2011.

COUNCE, A. P. et al. An uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p.466-443, 2000.

CROUGHAN, T.P. et al. Herbicide-resistant rice offers potential solution to red rice problem. **Louisiana Agriculture**, v.39, n.4, p.10-12, 1996.

DIARRA, A. et al. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, v.33, n.3, p.310-314, 1985.

DUNCAN, R. R.; BALIGAR, V. C. Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: Baligar, V. C., Duncan, R. R. (Eds.) **Crops as Enhancers of Nutrient Use**. San Diego: Academic Press, 1990. p.3-35.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap05.htm>>. Acesso em: 24 janeiro 2010.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 15 agosto 2010.

FLECK, N.G. Competição de azevém (*Lolium multiflorum* L.) com duas cultivares de trigo. **Planta Daninha**. v.3, n.2, p.61-67, 1980.

FERREIRA, F. A. et al. Mecanismos de Ação de Herbicidas. In: **V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO**, 2005, Salvador, Bahia. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/336.pdf>. Acesso em: 29 janeiro 2011.

FONSECA, J. R. et al. **Descritores Botânicos, Agronômicos e Fenológicos do Arroz (*Oryza sativa* L.)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 28p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 226).

FONTANA, L. C. et al. Controle de arroz vermelho (*Oryza* sp.) com o herbicida nicosulfuron ou a mistura formulada de imazetapir + imazapique. **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.783-790, 2007.

GALLI, J. et al. **Fundamentos para a Cultura do Arroz**. Fundação Cargil, 1985. 317p.

GRAVES, C. J. The nutrient film technique. In: JANICK, J., ed. **Horticultural Reviews**. The AVI Publishing Company, v.5, cap.1, p.1-44, 1983.

GRESSEL, J. **Molecular biology of weed control**. London: Taylor and Francis. 2002. 504p.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. (Eds.) **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 900p.

HINZ, J. R. R.; OWEN, M. D. K. Acetolactate Synthase resistance in a common WaterHemp (*Amaranthus rudis*) population. **Weed Technology**. v.11, n.1, p.13-18, 1997.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Dados estatísticos referentes à safra dos anos de 2009/2010. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em: 22 agosto 2010.

JENSEN, M. H.; COLLINS, W. L. Hydroponic vegetable production. In: JANICK, J., ed. **Horticultural Reviews**. The AVI Publishing Company, v.7, cap.10, p.483-558, 1985.

KWON, S. L. et al. Interference durations of red rice (*Oryza sativa*) in red rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.5, p.811-816, 1991.

LONDO, J. P. et al. Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v.103, n.25, p.9578-9583, 2006.

LOPES, M. C. B. et al. IRGA 422 CL a cultivar desenvolvida para o sistema de produção clearfield arroz. Instituto Rio Grandense do Arroz – **IRGA**. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20071107163254.pdf>>. Acesso em: 15 março 2010.

MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de; COSTA de OLIVEIRA, A. Arroz. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução das plantas cultivadas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. p.186-208.

MAIA, L. C. **Desenvolvimento de ferramenta e análise *in silico* da ocorrência de microssatélites (single sequence repeat) no genoma do arroz**. 2007. Dissertação (Mestrado em Fitomelhoramento)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

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

MARCHEZAN, E. et al. Controle do arroz vermelho. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.547-573.

MAZUR, B.J.; FALCO, S.C. The development of herbicide resistant crops. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.40, n.1, p.441-470, 1989.

MENEZES, V. G. et al. Caracterização de biótipos de arroz vermelho em lavouras de arroz do Estado do Rio Grande do Sul. **Planta Daninha**. Viçosa. v.20, n.2, p.221-227, 2002.

MORISHIMA, H. et al. Evolutionary studies in cultivated rice and its wild relatives. **Oxford Surveys in Evolution Biology**. v.8, p.135-184, 1992.

NCBI Taxonomy. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/>>. Acesso em: 18 agosto 2010.

- NOLDIN, J. A. et al. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, n.1, p.12-18, 1999.
- NOLDIN, J. A. et al. Red rice (*Oryza sativa*) biology. II. Ecotype sensitive to herbicides. **Weed Technol.**, v.13, n.1, p.19-24, 1999b.
- OLSEN, K. M. et al. Evolutionary Genomics of Weedy Rice in the USA. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.6, p.116-811, 2007.
- PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226p.
- PESKE, S. T. et al. **Produção de Arroz Irrigado**. Ed Universidade Federal de Pelotas, 1998. 641p.
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na Agropecuária**. 4ª ed. Lavras. Editora UFLA. 2008. 464p.
- RESH, H. M. **Hydroponic food production**. 5th ed. Califórnia: Press Publishing Company, 1996. 527 p.
- SAARI, L. L. et al. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: POWLES, S.; HOLTUM, J. A. M. Eds. **Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry**. Boca Raton: CRC Press, p.83-139, 1994.
- SCHWANKE, A. M. L. et al. Caracterização de ecótipos de arroz daninho (*Oryza sativa*) provenientes de áreas de arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.249-260, 2008.
- SHANER, D. L.; SINGH, B. K. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Plant Physiology**, v.103, n.4, p.1221-1226, 1993.
- SHIVRAIN, V. K. et al. Characterization of Spontaneous Crosses between Clearfield Rice (*Oryza sativa*) and Red Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.20, n.3. p.576-584, 2006.
- SHIVRAIN, V. et al. Gene flow between Clearfield™ rice and red rice. **Crop Protection**, v.26, n.3, p.349-356, 2007.
- SILVA, M.V. O melhoramento do arroz em Portugal. **Vida Agrícola**, v.19, não paginado, 1956.
- SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do BRASIL/SOSBAI. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, XXVII REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2007, Pelotas. **Anais**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154p.

- SOSBAI - SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXVIII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2010, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: CBAI, 2010. 188p.
- STEELE, G. L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinona-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.
- SUBRAMANIAN, M. et al. Approaches to assess the frequency of resistance development to new herbicides. **Proc. 2nd International Weed Control Congress**; Denmark. p.1–8, 1996.
- TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v.30, n.2, p.195-204, 2006.
- TAVARES, M. et al. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para características relacionadas com a produção de pimentão. **Bragantia**, v.58, n.1, p.41-47, 1999.
- TERRES, A. L. et al. **Arroz irrigado no Rio Grande do Sul: generalidades e cultivares**. Pelotas: EMBRAPA – CLIMA TEMPERADO, 1998. 58p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 14).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719p.
- TOMES, D. T. Heterosis: performance stability, adaptability to changing technology, and the foundation of agriculture as a business. In: CROP SCIENC SOCIETY OF AMERICA. **Concepts and breeding of heterosis in crop plants**. 1998. p.13-28. (CSSA Special Publication, 25).
- TRANDEL, P.J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Science**, v.50, n.6, p.700-712, 2002.
- VAUGHAN, D. A. The genus *Oryza* L. Current status of taxonomy. **IRRI Research Paper Series** n.138. Philippines: International Rice Research Institute. 21p. 1989.
- WEBSTER, E. P.; MASSON, J. A. Acetolactate synthaseinhibiting herbicides on imidazolinone-tolerant rice. **Weed Science**, v.49, n.5, p.652-657, 2001.
- WRIGHT, R. J. Soil aluminum toxicity and plant growth. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.1479-1497, 1989.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. The International Rice Research Institute, Phillipines, 269p. 1981.
- ZHANG, W. et al. Risk assessment of the transfer of imazetapir herbicide tolerance from Clearfield rice to red rice (*Oryza sativa*). **Euphytica**, v.152, n.1, p.75-86, 2006.

ZHANG, W. et al. Genetic and agronomic analyses of red rice Clearfield hybrids and their progeny produced from natural and controlled crosses. **Euphytica**, v.164, n.3, p.659-668, 2008.

3 CAPÍTULO I

METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ QUANTO À TOLERÂNCIA A HERBICIDA PERTENCENTE AO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS EM CULTIVO HIDROPÔNICO

3.1 Introdução

O arroz é um dos produtos agrícolas de fundamental importância no Brasil, servindo de dieta básica para a população brasileira. A produção brasileira ocupa o nono lugar em relação à produção mundial (CONAB, 2010).

Para atender a crescente demanda, estratégias de melhoramento genético são aplicadas pelas instituições de pesquisa visando o aumento da produtividade.

O incremento do rendimento de grãos é limitado por diversos fatores como: manejo inapropriado da cultura, uso de sementes não certificadas e, principalmente, controle insatisfatório de plantas daninhas. Entre esses fatores, a elevada incidência de arroz vermelho destaca-se como fator mais limitante ao potencial produtivo do arroz na maioria das regiões do mundo (WEBSTER, 2000; BURGOS et al., 2008) e do Brasil (NOLDIN et al., 2004). O controle de arroz vermelho por meio de herbicidas seletivos é dificultado pela semelhança entre o arroz cultivado e o arroz vermelho, pois pertencem à mesma espécie. Ainda, o controle de arroz vermelho por outros métodos possui eficiência limitada, sobretudo em grandes áreas de cultivo.

Caracterizar o crescimento e o desenvolvimento de diferentes genótipos de arroz e biótipos de arroz vermelho pode ser importante para o estabelecimento de estratégias de controle do arroz vermelho e para auxiliar no melhoramento do arroz cultivado, a fim de aumentar sua competitividade frente a essa planta daninha (KWON et al., 1992; NOLDIN et al., 1999; STRECK et al., 2006).

A avaliação de plântulas em cultivo hidropônico quanto ao comportamento frente a diferentes estresses abióticos permite maior controle experimental e

apresenta algumas vantagens em relação ao método convencional, tais como: obtenção de resultados em curto espaço de tempo, redução de custos operacionais, facilidade de avaliação e maior eficiência (FURLANI et al., 2000). O emprego de solução nutritiva combinada a diferentes concentrações de herbicida permite a avaliação e discriminação de constituições genéticas tolerantes e não-tolerantes ao herbicida do grupo das imidazolinonas.

O sistema Clearfield[®] de produção de arroz irrigado, que consiste na utilização de cultivar tolerante aos herbicidas do grupo das imidazolinonas, é uma estratégia eficiente para o controle de arroz vermelho em lavouras de arroz irrigado (STEELE et al., 2002; OTTIS et al., 2003; VILLA et al., 2006b). No Brasil, o herbicida recomendado para esse sistema é o Only[®], composto pela mistura formulada dos herbicidas imazetapir + imazapique, nas concentrações de 75 e 25g i.a. L⁻¹, respectivamente (SOSBAI, 2010).

Em decorrência da elevada frequência de surgimento de plantas de arroz vermelho resistentes a imidazolinonas, há necessidade do desenvolvimento de métodos para proporcionar correta e rápida identificação de indivíduos resistentes. Os objetivos desta pesquisa foram a identificação de características morfológicas possíveis de serem usadas como marcadores de resistência ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas, assim como a identificação de doses de herbicida da classe imidazolinona e tempo de avaliação que permitam discriminar genótipos sensíveis e tolerantes em sistemas hidropônicos.

3.2 Material e Métodos

Genótipos de arroz irrigado (*Oryza sativa*), caracterizados em estudos prévios quanto a tolerância a herbicida do grupo químico das imidazolinonas foram testados em cultivo hidropônico sob condições de ambiente controlado no Laboratório de Duplo-Haplóides e Hidroponia pertencente ao Centro de Genômica e Fitomelhoramento (CGF) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Capão do Leão – RS, Brasil. No estudo, foram avaliados seis cultivares de arroz irrigado. Os genótipos utilizados pertencem ao banco de germoplasma da EMBRAPA, com exceção da cultivar Puitá INTA CL, a

qual é proveniente da BASF S.A.. Quatro genótipos são sensíveis ao herbicida: BRS Querência, BRS Fronteira, BRS Atalanta e BRS Pampa e dois genótipos BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, são tolerantes ao herbicida. Esses genótipos foram escolhidos por apresentarem grande interesse agrônomo e científico.

As sementes utilizadas foram previamente tratadas com Vitavax e Thiran e germinadas em câmara germinadora (BOD) à 25°C com fotoperíodo de 16 horas e umidade relativa de 100%, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Plântulas apresentando comprimento de raiz uniforme (aproximadamente 5mm) foram dispostas em telas de polietileno, adaptadas a recipientes plásticos de cinco litros de capacidade, permitindo a sustentação das plântulas e o crescimento do sistema radicular no meio de cultivo, mantendo a raiz em contato permanente com a solução nutritiva padrão para arroz (YOSHIDA et al., 1976) contendo: 40mg L⁻¹ [(NH₄)₂ SO₄]; 10mg L⁻¹ (KH₂ PO₄); 40mg L⁻¹ (KNO₃); 40mg L⁻¹ (CaNO₃); 40mg L⁻¹ (MgSO₄ 7H₂O); 0,5mg L⁻¹ (MnSO₄H₂O); 0,05mg L⁻¹ (Na₂MO₄ 2H₂O); 0,58mg L⁻¹ (NaCl); 0,2mg L⁻¹ (H₃BO₃); 0,01mg L⁻¹ (ZnSO₄7H₂O), 0,01mg L⁻¹ (CuSO₄H₂O), 2mg L⁻¹ (FeSO₄7H₂O) e o respectivo tratamento.

Os tratamentos foram constituídos por quatro concentrações de herbicida do grupo químico das imidazolinonas acrescidas à solução nutritiva. As concentrações utilizadas foram 0 (testemunha), 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹ do herbicida comercial Only[®]. As doses de herbicida utilizadas correspondem, respectivamente, a 0, 0,5L ha⁻¹, 1,0L ha⁻¹ e 1,5L ha⁻¹. Após o preparo da solução nutritiva foi feito ajuste de pH para 4,5. As concentrações utilizadas foram previamente selecionadas através de um experimento piloto baseado nas bibliografias Magalhães Júnior et al. (2000) e Agostinetto et al. (2001), que relatam resistência a herbicidas em plantas.

Os recipientes foram acondicionados em um tanque hidropônico, com água a uma temperatura de 25 ± 1°C, com fotoperíodo de 16 horas. A solução nutritiva não foi trocada, sendo apenas acrescida água destilada para suprir a evaporação.

As plantas foram analisadas aos 7, 14, 21 e 28 dias, através da avaliação das variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), em cm; comprimento de parte aérea (cpa), em cm; inserção da primeira folha (inspf), em cm; comprimento da primeira folha (cpf), em cm; comprimento da segunda folha (csf), em cm, e número de afilhos. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em estufa com

circulação a ar à 65°C até atingirem peso constante para subsequente determinação da matéria seca da parte radicular (mspr), em g, e matéria seca da parte aérea (mspa), em g.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial dose x genótipo (4x6), com três repetições de dez plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e sendo significativos os efeitos, foram testados modelos de regressão polinomial, através do programa estatístico WinStat (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2003). A escolha dos modelos baseou-se na significância estatística (teste F) e no ajuste do coeficiente de determinação (R^2). Para a plotagem das figuras foi utilizado o programa Microsoft® Office Excel 2007.

Os dados obtidos também foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, essa análise estatística foi realizada com o auxílio do programa computacional SAS (SAS LEARNING EDITION, 2002).

3.3 Resultados e Discussão

Aos sete dias após a implementação do tratamento a análise de variância revelou efeitos significativos de interação entre o fator genótipo e dose para todas as variáveis avaliadas (Tab. 1), indicando que os genótipos apresentam variações significativas e de magnitudes distintas frente às doses de herbicida utilizadas.

A identificação da resistência aos herbicidas em estádios iniciais do desenvolvimento das plantas pode tornar mais rápida a tomada de decisão em lavouras com suspeita de infestação com arroz vermelho resistente.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, médias e cv para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Fonte de variação	GL	QM							
		nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
Dose	3	76,78*	840,29*	3652,32*	99,35*	78,83*	2152,76*	0,0006*	0,0002*
Genótipo	5	369,48*	451,27*	1542,41*	19,4*	5,28*	392,46*	0,0003*	9,27*
Dose x Genótipo	15	39,58*	25,29*	270,73*	8,72*	17,46*	120,89*	4,78.10 ^{-5*}	3,71.10 ^{-5*}
Resíduo	696	3,30	1,30	4,5	0,29	1,37	2,36	2,42.10 ⁻⁶	3,06.10 ⁻⁶
Média Geral	-	6,27	4,02	7,71	1,98	1,79	3,55	0,0046	0,0024
CV (%)	-	28,99	28,39	27,51	27,0	65,34	43,28	33,45	72,66

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

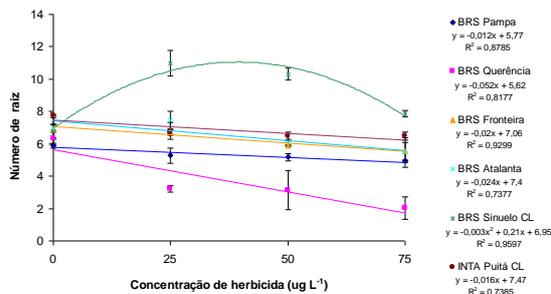
GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

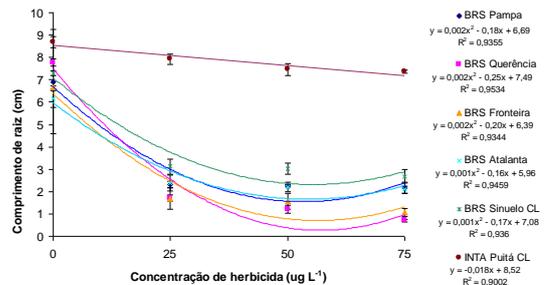
CV= coeficiente de variação.

A Fig. 1 ilustra a responsividade das variáveis analisadas frente à ação do herbicida nos genótipos utilizados. Verifica-se que os genótipos apresentaram respostas diferenciais ao efeito das doses em todas as variáveis analisadas, confirmando os resultados obtidos na análise de variância que demonstraram efeito significativo para interação genótipo x dose.

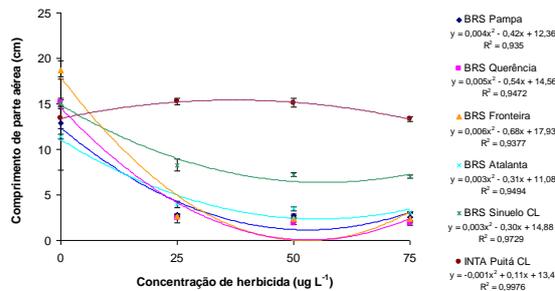
a



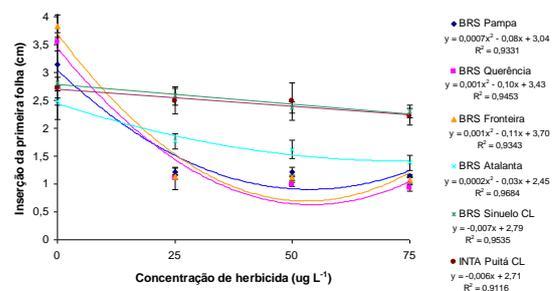
b



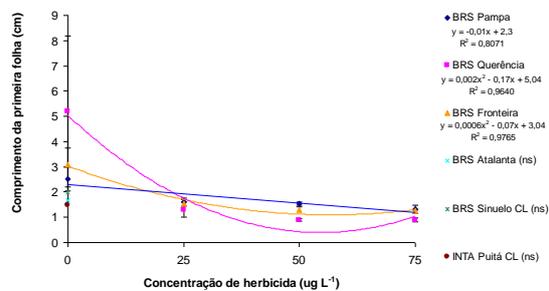
c



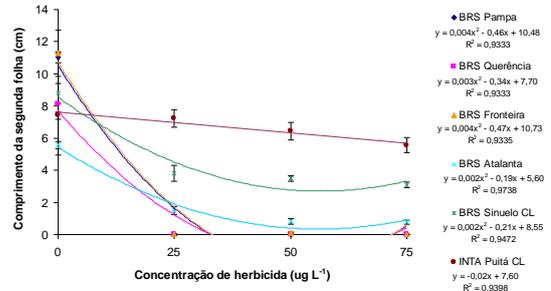
d



e

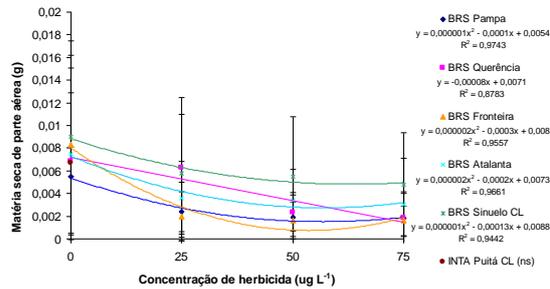


f



Continuação da Fig. 1

g



h

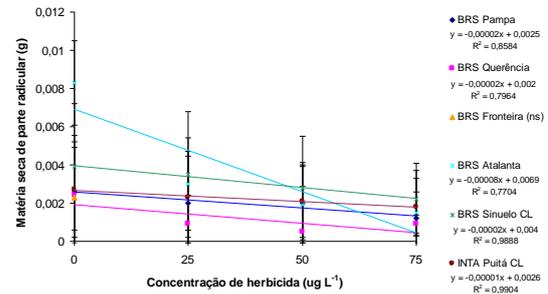


Figura 1 - Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis: **a** - número de raízes (nr), **b** - comprimento de raiz (cr), **c** - comprimento de parte aérea (cpa), **d** - inserção da primeira folha (inspf), **e** - comprimento da primeira folha (cpf), **f** - comprimento da segunda folha (csf), **g** - matéria seca de parte aérea (mspa), **h** - matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Avaliando-se a Fig. 1a pode-se verificar, para a variável número de raízes, um comportamento diferenciado para as cultivares. Apenas a cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante, apresentou melhor ajuste de regressão quadrática, permitindo, através da avaliação da dose crítica ($x_V = -b/2c$), verificar aumento no número médio de raízes até a dose de 35µg L⁻¹, com posterior decréscimo, apresentando, na última dose de herbicida avaliada, média superior a encontrada na condição de tratamento com ausência de herbicida, demonstrando característica de resistência. Já a cultivar Puitá INTA CL, tolerante, apresentou comportamento semelhante aos demais cultivares sensíveis, ajustando-se à regressão linear, mostrando, inclusive, maior sensibilidade ao acréscimo nas doses que o genótipo BRS Pampa, observado através do parâmetro b da equação (Puitá INTA CL; $b = -0,016$ e BRS Pampa; $b = -0,012$).

Para a variável comprimento de raiz (Fig. 1b), os genótipos apresentaram decréscimo com o aumento da dose de herbicida, ajustando-se à regressão quadrática, com exceção da cultivar Puitá INTA CL (regressão linear). A cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante, apresentou comportamento semelhante aos demais cultivares sensíveis ao herbicida, não permitindo discriminar os genótipos quanto à característica tolerância ao herbicida. Em relação às cultivares sensíveis e BRS Sinuelo CL, observa-se uma redução acentuada com o aumento das doses,

comprovando sensibilidade ao herbicida, isso deve-se ao fato de que a BRS Sinuelo CL é de primeira geração, apresentando tolerância intermediária ao herbicida.

A análise conjunta das características número de raízes e comprimento de raiz (Fig. 1a e Fig. 1b, respectivamente), mostra um comportamento diferenciado das cultivares tolerantes ao herbicida da classe imidazolinona, permitindo diferenciar as cultivares sensíveis e tolerantes. Uma das cultivares tolerantes, BRS Sinuelo CL, apresentou maior número de raízes e a outra cultivar, Puitá INTA CL, maior comprimento de raiz que os demais genótipos.

Analisando-se a Fig. 1c, para a variável comprimento de parte aérea, percebe-se que os genótipos adequaram-se ao modelo de regressão quadrática. Pode-se inferir que a cultivar Puitá INTA CL demonstrou característica de tolerância ao herbicida mostrando incremento até a dose $55\mu\text{g L}^{-1}$, com posterior decréscimo. As demais cultivares apresentaram sensibilidade aos efeitos fitotóxicos causados pelo herbicida, inclusive a cultivar tolerante BRS Sinuelo CL que apresentou redução até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$.

A variável inserção da primeira folha (Fig. 1d) apresentou um decréscimo mais tênue e semelhante para as cultivares tolerantes ao herbicida, que ajustaram-se a regressão linear (BRS Sinuelo CL ; $b = - 0,007$ e Puitá INTA CL; $b = - 0,006$). Já as cultivares sensíveis ajustaram-se à regressão quadrática, com redução mais acentuada no caráter morfológico analisado, permitindo diferenciar os genótipos em sensíveis e tolerantes.

Observando os resultados obtidos para a variável comprimento da primeira folha na Fig. 1e, pode-se inferir que as cultivares BRS Atalanta, BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL não se ajustaram a um modelo de regressão polinomial, apresentando médias de 1,68; 1,99 e 1,49cm, respectivamente. As demais cultivares apresentaram decréscimo tênue quanto à característica avaliada, exceto a cultivar BRS Querência que apresentou maior redução no comprimento da primeira folha.

Para o caráter morfológico comprimento da segunda folha (Fig. 1f) é possível verificar que as cultivares sensíveis BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira não apresentaram desenvolvimento da segunda folha na presença do herbicida, somente no tratamento controle, sem adição de herbicida. Porém, a cultivar BRS Atalanta apresentou desenvolvimento de segunda folha, com redução máxima na

dose $47,5\mu\text{g L}^{-1}$ semelhante à cultivar BRS Sinuelo CL com redução máxima na dose $52,5\mu\text{g L}^{-1}$.

Considerando o desempenho individual de cada constituição genética, para a variável matéria seca de parte aérea (Fig. 1g), pode-se inferir que os genótipos se ajustaram ao modelo de regressão quadrática, exceto o genótipo BRS Querência que ajustou-se a regressão linear, manifestando redução de $0,00008\text{g}$ nesse caráter a cada acréscimo na unidade de medida na variável dose de herbicida, e o genótipo Puitá INTA CL, que não se ajustou a um modelo de regressão polinomial, apresentando uma média de $0,0067\text{g}$. Os genótipos apresentaram comportamento semelhante, não permitindo a discriminação entre os genótipos sensíveis e tolerantes.

Os resultados relativos à matéria seca de parte radicular (Fig. 1h) indicam que os dados ajustaram-se ao modelo linear, com exceção do genótipo BRS Fronteira que não se ajustou a um modelo de regressão, apresentando uma média de $0,0023\text{g}$. Também pode-se inferir que a cultivar Puitá INTA CL apresentou o menor coeficiente de regressão linear, demonstrando maior tolerância ao herbicida, seguido pelos genótipos BRS Pampa, BRS Sinuelo CL, BRS Querência e BRS Atalanta.

O nível de correlação entre as variáveis analisadas pode ser evidenciado na Tab. 2, na qual pode-se verificar correlação significativa e positiva para quase todas as variáveis estudadas. Apenas uma das combinações (cpf com nr) não apresentou correlação significativa ao nível de 5% de significância, resultado que indica que as respostas dessas variáveis são independentes uma da outra, caso que não acontece com as demais. A significativa correlação de boa magnitude encontrada entre as variáveis cr, cpa e csf com inspf sugere a possibilidade de utilização de seleção indireta para tolerância ao herbicida utilizando a variável inspf. Carvalho et al. (2004) comentam a importância da análise de correlação para seleção indireta de genótipos com características de difícil mensuração.

Tabela 2 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa) (em cm), inserção da primeira folha (inspf) (em cm), comprimento da primeira folha (cpf) (em cm), comprimento da segunda folha (csf) (em cm), matéria seca de parte aérea (mspa) (em g) e matéria seca de parte radicular (mspr) (em g), de seis genótipos de arroz irrigado avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) após sete dias de tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPEI-CGF, 2011.

Variáveis	nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
nr	1	0,26*	0,35*	0,47*	0,23	0,31*	0,34*	0,69*
cr		1	0,94*	0,82*	0,36*	0,84*	0,72*	0,39*
cpa			1	0,91*	0,39*	0,90*	0,77*	0,45*
inspf				1	0,48*	0,87*	0,70*	0,56*
cpf					1	0,24*	0,65*	0,28*
csf						1	0,58*	0,45*
mspa							1	0,40*
mspr								1

* Significante ao nível de 0,05 de probabilidade de erro pelo teste F.

Os resultados obtidos, na avaliação aos sete dias (Fig. 1), sugerem que a inserção da primeira folha foi a variável mais indicada para identificar genótipos tolerantes ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas, sendo necessária uma dose de 25µg L⁻¹ de herbicida para que ocorra a discriminação de genótipos sensíveis e tolerantes. Todavia, as correlações significativas (Tab. 2) indicam que as variáveis comprimento de raiz, comprimento de parte aérea e comprimento da segunda folha podem ser utilizadas como critério auxiliar de seleção.

Corroborando com os resultados encontrados, relatos de um bioensaio com plântulas de arroz irrigado, avaliado num período de sete dias, indicaram a variável comprimento de raiz como variável apropriada à identificação da suscetibilidade aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (ROSO et al., 2010).

Bioensaios de diagnóstico da resistência aos herbicidas com plântulas também foram realizados por Portes (2005) com as espécies *Eleusine indica*, para resistência aos inibidores de ACCase, e *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*, para resistência aos inibidores de ALS. O período de quatro dias foi suficiente para identificar sintomas em plantas suscetíveis a esses herbicidas.

Na determinação dos resultados aos 14 dias após a implementação do tratamento, a análise de variância revelou efeitos significativos de interação entre o fator genótipo e dose para todas as variáveis avaliadas (Tab. 3), indicando que os genótipos apresentaram variações significativas e de magnitudes distintas frente às doses de herbicida utilizadas.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, médias e cv para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Fonte de variação	GL	QM							
		nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
Dose	3	179,47*	1746,69*	6070,32*	141,8*	33,98*	2090,71*	0,0011*	0,0002*
Genótipo	5	545,71*	849,52*	4717,7*	30,67*	13,35*	360,66*	0,0011*	0,0002*
Dose x Genótipo	15	82,37*	81,82*	327,24*	11,7*	4,01*	127,5*	8,95.10 ^{-5*}	8,15.10 ^{-5*}
Resíduo	696	6,68	1,83	4,47	0,36	0,31	1,38	1,59.10 ⁻⁶	6,95.10 ⁻⁶
Média Geral	-	7,36	4,98	9,73	1,89	1,53	3,33	0,0060	0,0032
CV (%)	-	35,11	27,19	21,73	31,67	36,39	35,28	21,00	83,55

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

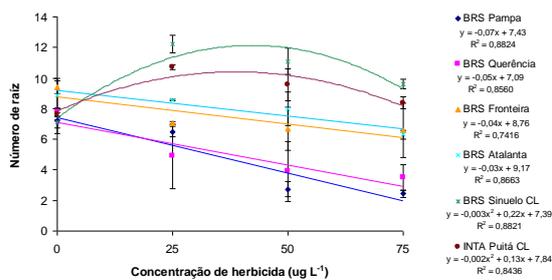
GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

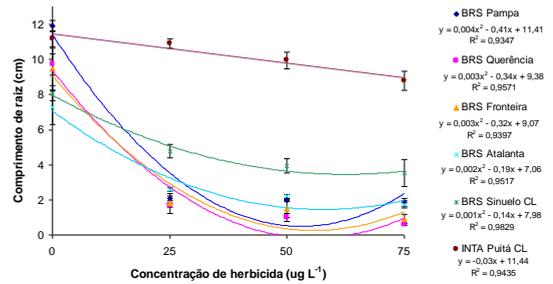
CV= coeficiente de variação.

A Fig. 2 ilustra a responsividade das variáveis analisadas frente à ação do herbicida nos genótipos utilizados. Verifica-se que os genótipos apresentaram respostas diferenciais ao efeito das doses em todas as variáveis analisadas, concordando com os resultados obtidos na análise de variância, que demonstraram efeito significativo para interação genótipo x dose.

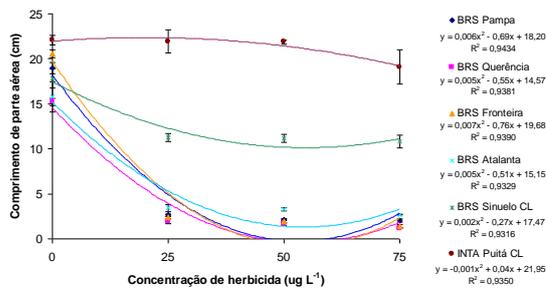
a



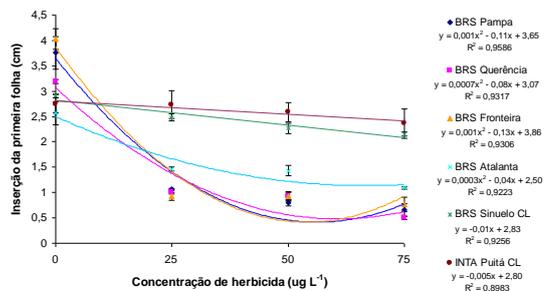
b



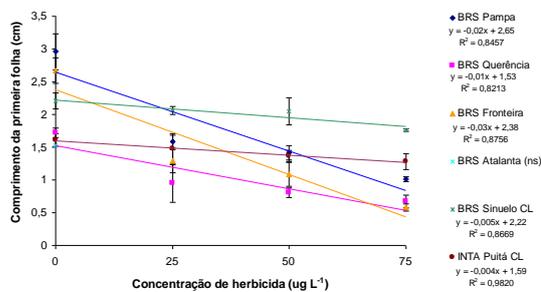
c



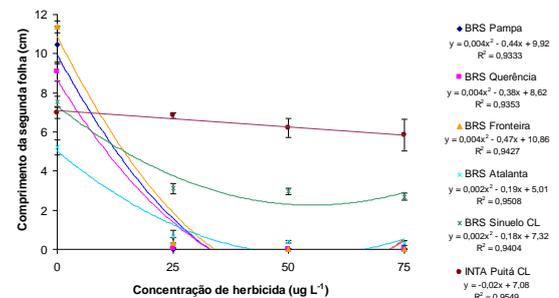
d



e

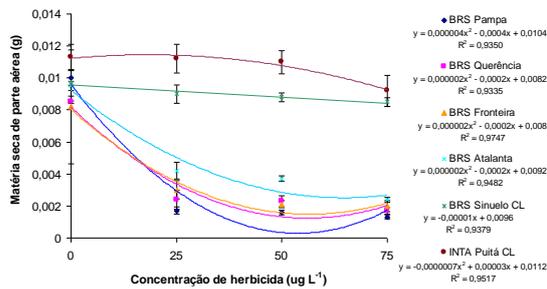


f



Continuação da Fig.2

g



h

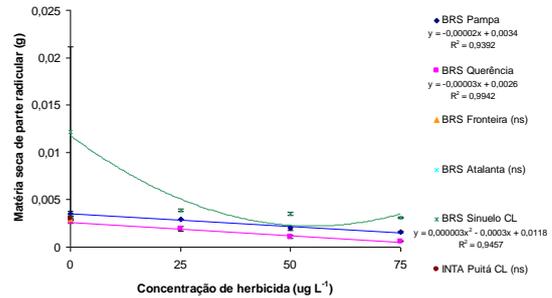


Figura 2 - Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis: **a** - número de raízes (nr), **b** - comprimento de raiz (cr), **c** - comprimento de parte aérea (cpa), **d** - inserção da primeira folha (inspf), **e** - comprimento da primeira folha (cpf), **f** - comprimento da segunda folha (csf), **g** - matéria seca de parte aérea (mspa), **h** - matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Analisando-se a Fig. 2a, é possível verificar, para a variável número de raízes, um comportamento diferenciado para as cultivares sensíveis e tolerantes. As cultivares BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, caracterizadas como tolerantes ao herbicida, apresentaram melhor ajuste ao modelo de regressão quadrática, com aumento no número médio de raízes até as doses 36,67 e 32,5µg L⁻¹, para os genótipos BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, respectivamente, apresentando posterior decréscimo, sendo que até a última dose de herbicida avaliada, mantiveram média superior a encontrada na condição de tratamento com ausência de herbicida, demonstrando característica de resistência. As cultivares sensíveis, ajustando-se à regressão linear, apresentaram sensibilidade, reduzindo a média de número de raízes com acréscimo de doses de herbicida. Dentre as cultivares sensíveis, os genótipos BRS Pampa (b= -0,07) e BRS Querência (b= -0,05) demonstraram maior sensibilidade ao herbicida que os genótipos BRS Fronteira (b= -0,04) e BRS Atalanta (b= -0,03) observada através do parâmetro b da equação.

A variável comprimento de raiz, avaliada aos 14 dias de desenvolvimento, em conformidade com a Fig. 2b, revela um comportamento diferencial entre os genótipos sensíveis e tolerantes, formando um grupo ajustado ao modelo de regressão quadrática, com exceção da cultivar Puitá INTA CL que apresentou

melhor ajuste ao modelo de regressão linear. A cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante, apresentando regressão quadrática diferencia-se das demais cultivares sensíveis por apresentar redução de comprimento até a dose de $70\mu\text{g L}^{-1}$. Em relação às cultivares sensíveis observa-se uma redução acentuada a partir da dose $25\mu\text{g L}^{-1}$ até doses que variam entre $47,5$ e $70\mu\text{g L}^{-1}$.

Pela observação da Fig. 2c, na avaliação da variável comprimento de parte aérea, pode-se inferir que os genótipos tolerantes e sensíveis diferenciam-se, adequando-se ao modelo de regressão quadrática. A cultivar Puitá INTA CL apresentou característica de tolerância ao herbicida demonstrando incremento até a dose $20\mu\text{g L}^{-1}$, com posterior tênue decréscimo. As demais cultivares apresentaram sensibilidade aos efeitos fitotóxicos causados pelo herbicida. A cultivar tolerante BRS Sinuelo CL apresentou redução menor que as cultivares sensíveis até a dose $67,5\mu\text{g L}^{-1}$ ($5,36\text{cm}$ para cada incremento de unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear, sem alterações no termo quadrático), demonstrando maior tolerância ao herbicida que os genótipos sensíveis, os quais apresentaram decréscimo entre $0,51$ e $0,76\text{cm}$ na média do comprimento de parte aérea por unidade de concentração de herbicida, até doses que variaram de 51 a $57,5\mu\text{g L}^{-1}$.

Para a variável inserção da primeira folha, observa-se na Fig. 2d a formação de dois grupos, permitindo discriminar os genótipos sensíveis e tolerantes. O primeiro grupo, formado pelos genótipos tolerantes, ajustado a regressão linear (BRS Sinuelo CL; $b = -0,01$ e Puitá INTA CL; $b = -0,005$), apresenta um decréscimo mais tênue em relação ao acréscimo de uma unidade de concentração de herbicida. O segundo grupo reúne as cultivares sensíveis ao herbicida, que tiveram melhor ajuste à regressão quadrática, apresentando redução mais acentuada no caráter morfológico analisado, com decréscimo até doses variáveis entre 55 e $66,67\mu\text{g L}^{-1}$.

Observando os resultados obtidos para a variável comprimento da primeira folha na Fig. 2e pode-se inferir que a cultivar BRS Atalanta não se ajustou a um modelo de regressão polinomial, apresentando média de $1,53\text{cm}$. As demais cultivares adequaram-se ao modelo linear. Através do coeficiente de regressão pode-se verificar um pequeno decréscimo quanto à característica avaliada para as cultivares tolerantes e um maior decréscimo para as cultivares BRS Querência, BRS Pampa e BRS Fronteira (sensíveis) revelando maior sensibilidade ao herbicida para a característica avaliada.

Para o caráter morfológico comprimento da segunda folha (Fig. 2f) é possível verificar que as cultivares sensíveis BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira não apresentaram desenvolvimento da segunda folha na presença do herbicida, somente no tratamento controle sem adição de herbicida. Porém, a cultivar BRS Atalanta apresentou desenvolvimento de segunda folha, com redução até a dose $47,5\mu\text{g L}^{-1}$ semelhante à cultivar BRS Sinuelo CL com redução até a dose $45\mu\text{g L}^{-1}$. Já a cultivar Puitá INTA CL ajustou-se ao modelo de regressão linear demonstrando maior tolerância ao efeito de toxidez do herbicida, apresentando um decréscimo de 0,02cm a cada unidade de concentração de herbicida acrescida.

Considerando o desempenho individual de cada constituição genética, para a variável matéria seca de parte aérea (Fig. 2g) pode-se inferir que os genótipos se ajustaram ao modelo de regressão quadrática, exceto o genótipo BRS Sinuelo CL que se ajustou à regressão linear, manifestando redução de 0,00001g nesse caráter a cada acréscimo na unidade de medida de concentração de herbicida, demonstrando tolerância ao herbicida. Já o genótipo Puitá INTA CL manifestou sua característica de tolerância ao herbicida ao apresentar um acréscimo na variável matéria seca de parte aérea até a dose $21,43\mu\text{g L}^{-1}$, com posterior decréscimo. Os genótipos sensíveis (BRS Pampa, BRS Fronteira, BRS Querência e BRS Atalanta) apresentaram acentuada redução para a variável avaliada até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$ demonstrando maior sensibilidade ao efeito tóxico do herbicida. Essa variável permite a discriminação entre genótipos sensíveis e tolerantes.

Para a variável matéria seca de parte radicular (Fig. 2h) as cultivares BRS Fronteira, BRS Atalanta e Puitá INTA CL não se ajustaram a um modelo de regressão polinomial e apresentaram as seguintes médias 0,0029, 0,0032 e 0,003g, respectivamente. Os genótipos BRS Pampa e BRS Querência adequaram-se a um modelo linear com decréscimo de 0,00002 e 0,00003g, respectivamente, na variável matéria seca de parte radicular a cada incremento de uma unidade de concentração de herbicida, demonstrando sensibilidade ao efeito do herbicida. Já a cultivar BRS Sinuelo CL ajustou-se à regressão quadrática apresentando um decréscimo até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$, demonstrando, também, sensibilidade ao herbicida.

Na Tab. 4 pode ser verificado que as variáveis estudadas apresentam correlações positivas e significativas entre si, com exceção da variável mspr com as variáveis nr, cr, cpa e csf. Os resultados obtidos pelas curvas dose-resposta

sugerem que as variáveis nr, cr, cpa, inspf, cpf e mspa são indicadas para selecionar genótipos promissores quanto à tolerância ao herbicida. As correlações significativas indicam que as variáveis apresentam entre elas correlação de alta magnitude, com exceção do cpf que apresenta correlações de média magnitude.

Tabela 4 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa) (em cm), inserção da primeira folha (inspf) (em cm), comprimento da primeira folha (cpf) (em cm), comprimento da segunda folha (csf) (em cm), matéria seca de parte aérea (mspa) (em g) e matéria seca de parte radicular (mspr) (em g), de seis genótipos de arroz irrigado avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) após 14 dias de tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPEL-CGF, 2011.

Variáveis	nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
nr	1	0,43*	0,53*	0,55*	0,44*	0,41*	0,61*	0,18
cr		1	0,95*	0,88*	0,57*	0,93*	0,87*	0,20
cpa			1	0,89*	0,58*	0,91*	0,91*	0,23
inspf				1	0,78*	0,95*	0,85*	0,26*
cpf					1	0,69*	0,55*	0,25*
csf						1	0,80*	0,23
mspa							1	0,27*
mspr								1

* Significante ao nível de 0,05 de probabilidade de erro pelo teste F.

Os resultados obtidos na avaliação aos 14 dias (Fig. 2) sugerem que as variáveis nr, cr, cpa, inspf, cpf e mspa podem ser indicadas para discriminar genótipos tolerantes e sensíveis ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas, sendo necessária uma dose aproximada de 25µg L⁻¹ de herbicida para que ocorra a discriminação de genótipos sensíveis e tolerantes.

Na determinação dos resultados aos 21 dias após a implementação do tratamento, a análise de variância revelou efeitos significativos de interação entre os fatores genótipo e dose para todas as variáveis avaliadas (Tab. 5), indicando que os genótipos apresentaram variações significativas e de magnitudes distintas frente às doses de herbicida utilizadas.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância, médias e cv para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Fonte de variação	GL	QM							
		nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
Dose	3	392,27*	2948,08*	8088,85*	129,89*	27,83*	2454,74*	0,0033*	0,0003*
Genótipo	5	558,68*	1540,05*	5800,86*	27,30*	9,68*	353,61*	0,0028*	0,0002*
Dose x Genótipo	15	38,19*	128,07*	412,90*	12,83*	2,52*	178,45*	0,0002*	0,0001*
Resíduo	696	5,86	3,04	5,15	0,25	0,24	16,19	7,65.10 ⁻⁷	1,31.10 ⁻⁵
Média Geral	-	7,96	6,16	10,73	1,91	1,56	3,57	0,0081	0,0041
CV (%)	-	30,4	28,29	21,14	26,39	31,60	112,66	10,82	88,14

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

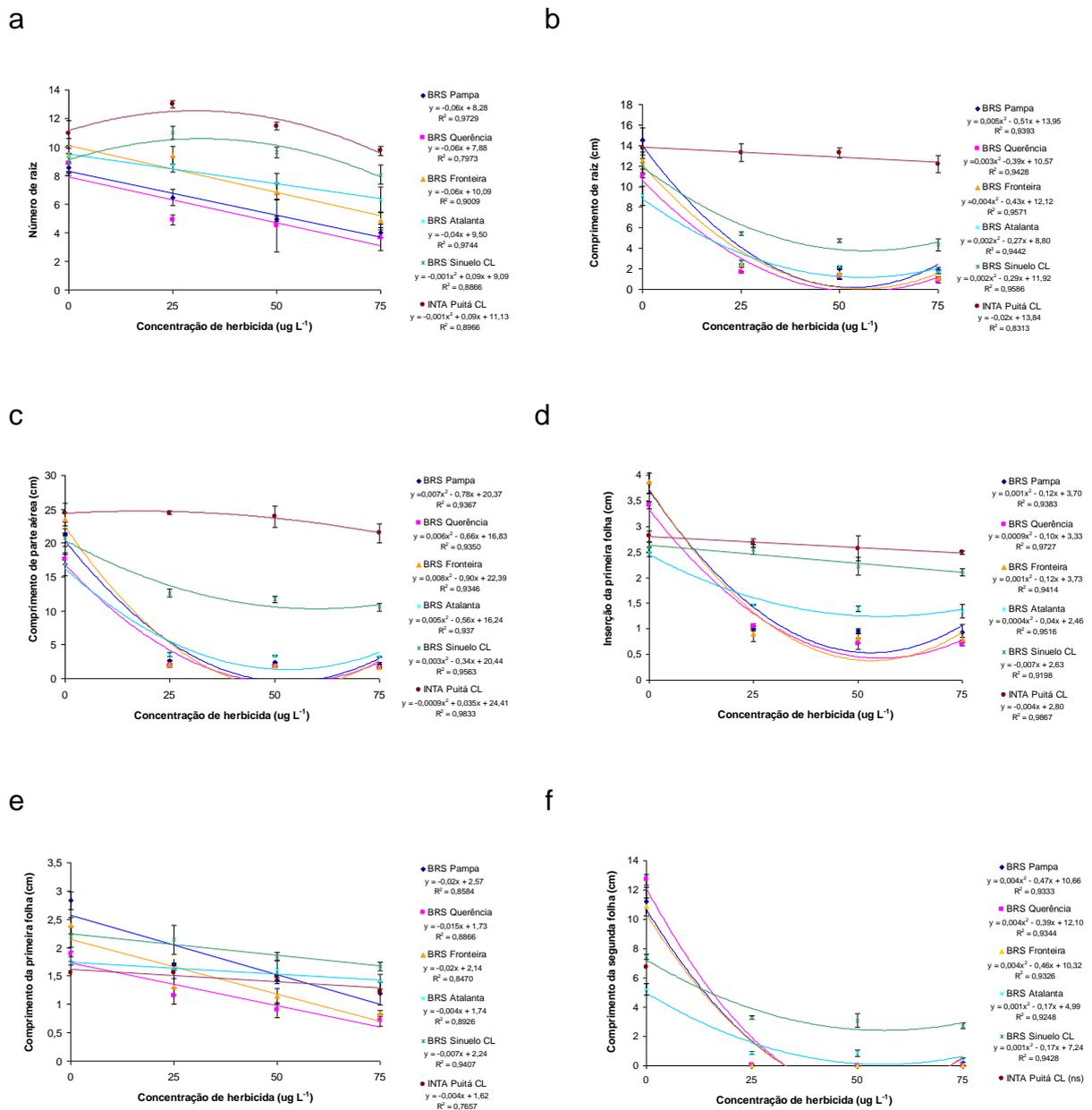
^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

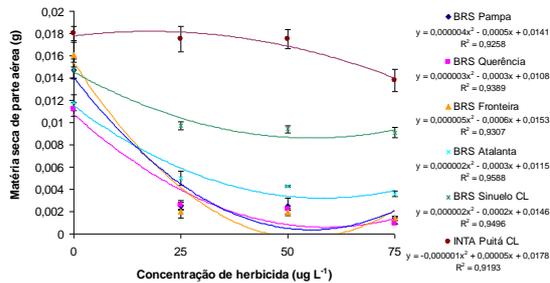
CV= coeficiente de variação.

A Fig. 3 ilustra a responsividade das variáveis analisadas frente à ação do herbicida nos genótipos utilizados. Verifica-se que os genótipos apresentaram respostas diferenciais ao efeito das doses em todas as variáveis analisadas, confirmando os resultados obtidos na análise de variância, que demonstraram efeito significativo para interação genótipo x dose.



Continuação da Fig. 3

g



h

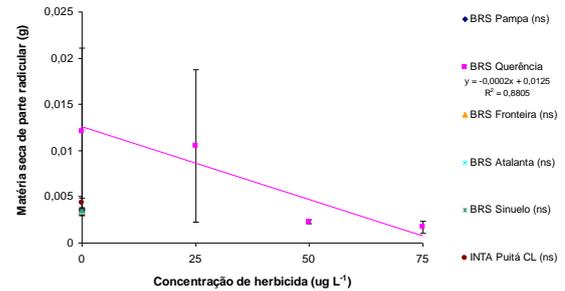


Figura 3 - Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis: **a** - número de raiz (nr), **b** - comprimento de raiz (cr), **c** - comprimento de parte aérea (cpa), **d** - inserção da primeira folha (inspf), **e** - comprimento da primeira folha (cpf), **f** - comprimento da segunda folha (csf), **g** - matéria seca de parte aérea (mspa), **h** - matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25 $\mu\text{g L}^{-1}$, 50 $\mu\text{g L}^{-1}$ e 75 $\mu\text{g L}^{-1}$) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Analisando-se a Fig. 3a é possível verificar para variável número de raízes um comportamento diferenciado para as cultivares sensíveis e tolerantes. As cultivares BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, caracterizadas como tolerantes ao herbicida, apresentaram melhor ajuste ao modelo de regressão quadrática, com aumento no número médio de raízes até a dose 45 $\mu\text{g L}^{-1}$. Os genótipos apresentaram um posterior decréscimo pouco acentuado, demonstrando característica de tolerância. As cultivares sensíveis, ajustando-se à regressão linear, evidenciaram sensibilidade, reduzindo a média de número de raiz com acréscimo de doses de herbicida.

A variável comprimento de raiz, avaliada aos 21 dias de desenvolvimento, observada na Fig. 3b, revela um comportamento diferencial entre os genótipos, formando um grupo ajustado ao modelo de regressão quadrática, com exceção da cultivar Puitá INTA CL, que apresentou melhor ajuste ao modelo de regressão linear. A cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante, apresenta redução de comprimento até a dose 72,5 $\mu\text{g L}^{-1}$, semelhante à cultivar BRS Atalanta com redução até a dose 67,5 $\mu\text{g L}^{-1}$. Em relação às demais cultivares sensíveis observa-se uma redução acentuada até doses que variam entre 51 e 65 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Avaliando a variável comprimento de parte aérea (Fig. 3c), pode-se inferir que os genótipos adequaram-se ao modelo de regressão quadrática. A cultivar Puitá

INTA CL demonstrou característica de tolerância ao herbicida mostrando incremento até a dose $19,44\mu\text{g L}^{-1}$, com posterior decréscimo pouco acentuado. A cultivar tolerante BRS Sinuelo CL apresentou redução menor que as cultivares sensíveis até a dose $56,67\mu\text{g L}^{-1}$ ($0,34\text{cm}$ para cada incremento de unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear sem alterações no termo quadrático), demonstrando maior tolerância ao herbicida que os genótipos sensíveis, os quais apresentaram decréscimo variável entre $0,90$ e $0,56\text{cm}$ na média do comprimento de parte aérea por unidade de concentração de herbicida, até doses que variam de 55 a $56,25\mu\text{g L}^{-1}$.

Para a variável inserção da primeira folha, observa-se na Fig. 3d, a formação de dois grupos, permitindo discriminar os genótipos sensíveis e tolerantes. O primeiro grupo, formado pelos genótipos tolerantes, ajustado à regressão linear (BRS Sinuelo CL; $b = -0,007$ e Puitá INTA CL; $b = -0,004$), apresenta um decréscimo tênue em relação à adição de uma unidade de concentração de herbicida. O segundo grupo reúne as cultivares sensíveis ao herbicida, que tiveram melhor ajuste à regressão quadrática, apresentando redução mais acentuada no caráter morfológico analisado, com decréscimo até as doses que variam entre 50 e $60\mu\text{g L}^{-1}$.

Observando os resultados obtidos para a variável comprimento da primeira folha na Fig. 3e, pode-se inferir que as cultivares adequaram-se ao modelo linear, através do coeficiente de regressão pode-se verificar um decréscimo tênue quanto à característica avaliada para as cultivares tolerantes e para a cultivar BRS Atalanta (sensível), demonstrando maior tolerância ao herbicida, e um maior decréscimo para as cultivares BRS Querência, BRS Pampa e BRS Fronteira (sensíveis) apresentando sensibilidade ao herbicida para o caráter avaliado.

Para o caráter morfológico comprimento da segunda folha (Fig. 3f) é possível verificar que a cultivar Puitá INTA CL não se ajustou a um modelo de regressão, apresentando uma média de $6,73\text{cm}$. As cultivares sensíveis BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira não apresentaram desenvolvimento da segunda folha na presença do herbicida, somente no tratamento controle, sem adição do mesmo. Porém, a cultivar BRS Atalanta apresentou desenvolvimento de segunda folha, com redução até a dose $85\mu\text{g L}^{-1}$ assim como a cultivar BRS Sinuelo CL. Esse caráter morfológico não permitiu a discriminação dos genótipos quanto à tolerância ao herbicida.

Considerando o desempenho individual de cada constituição genética, para a variável matéria seca de parte aérea (Fig. 3g) pode-se inferir que os genótipos se ajustaram ao modelo de regressão quadrática. O genótipo Puitá INTA CL manifestou sua característica de tolerância ao herbicida ao apresentar um acréscimo na variável matéria seca de parte aérea até a dose $25\mu\text{g L}^{-1}$, com posterior decréscimo. O genótipo BRS Sinuelo CL apresentou redução até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$ com decréscimo de $0,0002\text{g}$ para cada adição de unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear sem alterações no termo quadrático. Já os genótipos sensíveis (BRS Pampa, BRS Fronteira, BRS Querência e BRS Atalanta) expressaram maior redução para a variável avaliada até doses que variaram de 50 a $75\mu\text{g L}^{-1}$ demonstrando maior sensibilidade ao efeito tóxico do herbicida. A variável matéria seca de parte aérea permite a discriminação entre genótipos sensíveis e tolerantes.

Para a variável matéria seca de parte radicular (Fig. 3h) as cultivares BRS Pampa, BRS Fronteira, BRS Atalanta, BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL não se ajustaram a um modelo de regressão polinomial e apresentaram as seguintes médias $0,0035$, $0,0034$, $0,0033$, $0,0035$ e $0,0043\text{g}$, respectivamente. O genótipo BRS Querência ajustou-se a um modelo linear apresentando um decréscimo de $0,0002\text{g}$ na variável matéria seca de parte radicular a cada incremento de uma unidade de concentração de herbicida, demonstrando sensibilidade ao efeito tóxico do herbicida.

Pode-se verificar na Tab. 6 que as variáveis estudadas apresentam correlações positivas e significativas entre si, com exceção da variável mspr que não apresentou correlação significativa ao nível de 5% de significância com as demais variáveis. Os resultados obtidos pelas curvas dose-respostas sugerem que as variáveis nr, cpa, inspf e mspa são indicadas para selecionar genótipos promissores quanto à tolerância ao herbicida, sendo necessário uma concentração de $25\mu\text{g L}^{-1}$. As correlações significativas indicam que as variáveis apresentam entre elas correlação de alta e média magnitude. Os resultados obtidos foram similares aos resultados observados aos quatorze dias de desenvolvimento das plantas de arroz irrigado.

Tabela 6 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa) (em cm), inserção da primeira folha (inspf) (em cm), comprimento da primeira folha (cpf) (em cm), comprimento da segunda folha (csf) (em cm), matéria seca de parte aérea (mspa) (em g) e matéria seca de parte radicular (mspr) (em g), de seis genótipos de arroz irrigado avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0 - testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) após 21 dias de tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPel-CGF, 2011.

Variáveis	nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
nr	1	0,69*	0,74*	0,64*	0,47*	0,61*	0,77*	0,05
cr		1	0,97*	0,88*	0,58*	0,94*	0,95*	0,14
cpa			1	0,89*	0,55*	0,92*	0,98*	0,09
inspf				1	0,74*	0,95*	0,88*	0,17
cpf					1	0,68*	0,56*	0,04
csf						1	0,89*	0,16
mspa							1	0,07
mspr								1

* Significante ao nível de 0.05 de probabilidade de erro pelo teste F.

Na determinação dos resultados aos 28 dias após a implementação do tratamento a análise de variância revelou efeitos significativos de interação entre o fator genótipo e dose para todas as variáveis avaliadas (Tab. 7), indicando que os genótipos apresentaram variações significativas e de magnitudes distintas frente às doses de herbicida utilizadas.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância, médias e cv para os caracteres número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr), comprimento de parte aérea (cpa), inserção da primeira folha (inspf), comprimento da primeira folha (cpf), comprimento da segunda folha (csf), matéria seca de parte aérea (mspa) e matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Fonte de variação	GL	QM							
		nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
Dose	3	489,44*	3787,98*	8447,25*	161,77*	70,98*	2366,15*	0,0053*	8,74*
Genótipo	5	1046,01*	2446,39*	6220,35*	44,47*	21,98*	721,42*	0,0047*	0,0001*
Dose x Genótipo	15	100,29*	134,34*	418,91*	10,38*	3,91*	114,64*	0,0001*	8,02.10 ^{-6*}
Resíduo	696	6,60	4,45	6,22	0,60	1,06	3,42	1,16.10 ⁻⁶	2,75.10 ⁻⁷
Média Geral	-	8,71	7,08	10,97	2,02	1,68	3,70	0,0096	0,0036
CV (%)	-	29,48	29,78	22,73	38,27	61,20	50,02	11,24	14,65

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

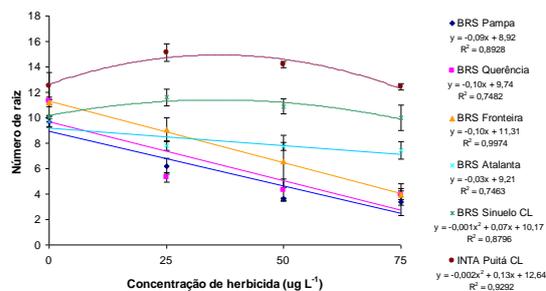
GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

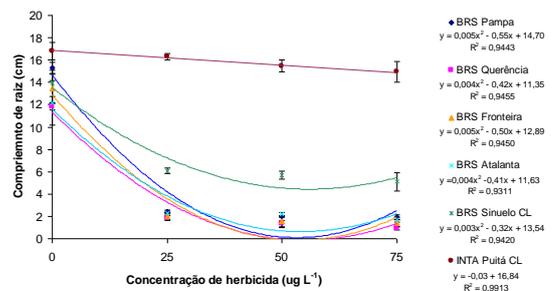
CV= coeficiente de variação.

A Fig. 4 ilustra a responsividade das variáveis analisadas frente à ação do herbicida nos genótipos estudados. Os genótipos apresentaram respostas diferenciais ao efeito das doses em todas as variáveis analisadas, concordando com os resultados obtidos na análise de variância, que demonstraram efeito significativo para interação genótipo x dose.

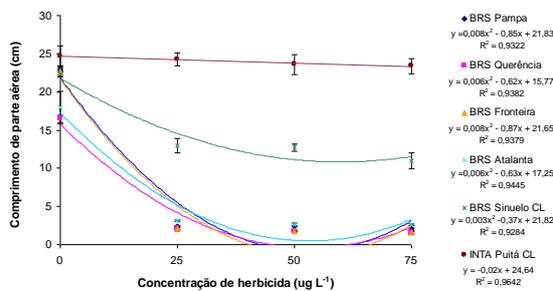
a



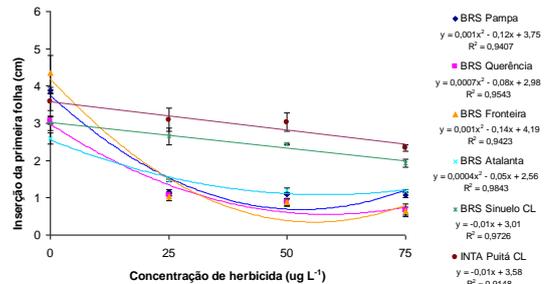
b



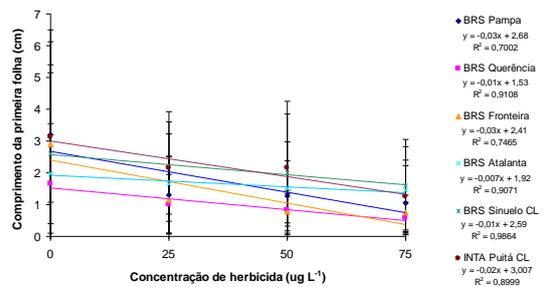
c



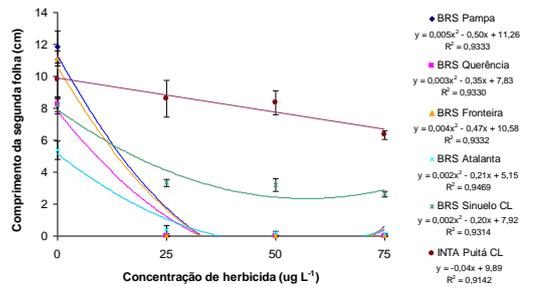
d



e

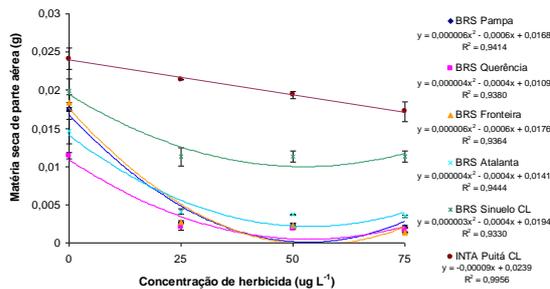


f



Continuação da Fig. 4

g



h

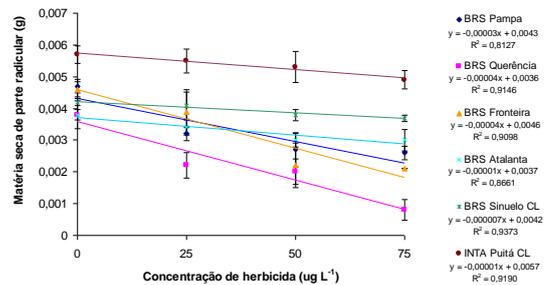


Figura 4 - Parâmetros das equações de regressão e respectivas representações gráficas das variáveis: **a** - número de raízes (nr), **b** - comprimento de raiz (cr), **c** - comprimento de parte aérea (cpa), **d** - inserção da primeira folha (inspf), **e** - comprimento da primeira folha (cpf), **f** - comprimento da segunda folha (csf), **g** - matéria seca de parte aérea (mspa), **h** - matéria seca de parte radicular (mspr), de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. As barras representam o erro padrão da média e (ns) equação de regressão polinomial não significativa. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Analisando-se a Fig. 4a, é possível verificar, para a variável número de raízes, um comportamento diferenciado para as cultivares sensíveis e tolerantes. As cultivares BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, caracterizadas como tolerantes ao herbicida, apresentaram melhor ajuste ao modelo de regressão quadrática, com aumento no número médio de raízes até as doses 35 e 32,5µg L⁻¹, para os genótipos BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, respectivamente, apresentando posterior decréscimo pouco acentuado, demonstrando característica de tolerância. As cultivares sensíveis, ajustando-se à regressão linear, apresentaram sensibilidade, reduzindo a média de número de raízes com acréscimo de doses de herbicida.

A variável comprimento de raiz, em conformidade com a Fig. 4b, revela um comportamento diferencial entre os genótipos, formando um grupo ajustado ao modelo de regressão quadrática, com exceção da cultivar Puitá INTA CL, que apresentou melhor ajuste ao modelo de regressão linear. A cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante, apresenta redução de comprimento até a dose 53,33µg L⁻¹ (0,32cm para cada incremento de unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear sem alterações no termo quadrático). Em relação às demais cultivares sensíveis observa-se uma redução acentuada a partir da dose 25µg L⁻¹ até doses que variam entre 50 e 55µg L⁻¹.

Avaliando a variável comprimento de parte aérea (Fig. 4c), pode-se inferir que os genótipos adequaram-se ao modelo de regressão quadrática com exceção da cultivar Puitá INTA CL, a qual demonstrou característica de tolerância ao herbicida, ajustando-se a um modelo de regressão linear, com uma redução de 0,02cm em relação ao incremento de uma unidade de concentração de herbicida. A cultivar tolerante BRS Sinuelo CL apresentou redução menor que as cultivares sensíveis até a dose crítica $61,67\mu\text{g L}^{-1}$ (0,37cm para cada incremento de unidade na concentração de herbicida, considerando o termo linear sem alterações no termo quadrático), demonstrando comportamento de maior tolerância ao herbicida que os genótipos sensíveis, os quais apresentaram decréscimo variável entre 0,87 e 0,62cm na média do comprimento de parte aérea por unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear sem alterações no termo quadrático até doses que variam de $51,67$ a $54,37\mu\text{g L}^{-1}$.

Para a variável inserção da primeira folha, observa-se na Fig. 4d a formação de dois grupos, discriminando os genótipos em sensíveis e tolerantes. O primeiro grupo, formado pelos genótipos tolerantes ajustado a regressão linear (BRS Sinuelo CL ; $b = -0,01$ e Puitá INTA CL; $b = -0,01$), apresenta um decréscimo mais tênue em relação ao acréscimo de uma unidade de concentração de herbicida. O segundo grupo reúne as cultivares sensíveis ao herbicida, que tiveram melhor ajuste à regressão quadrática, apresentando redução mais acentuada no caráter morfológico analisado até doses que variam entre $57,14$ e $70\mu\text{g L}^{-1}$. O comportamento dos genótipos quanto a variável inserção da primeira folha foi semelhante aos demais períodos avaliados.

Observando os resultados obtidos para a variável comprimento da primeira folha, na Fig. 4e, pode-se inferir que as cultivares adequaram-se ao modelo linear; através do coeficiente de regressão pode-se verificar um decréscimo tênue quanto à característica avaliada para a cultivar BRS Atalanta (sensível, $b = -0,007$) demonstrando maior tolerância ao herbicida. As demais cultivares apresentaram maior decréscimo para o caráter avaliado.

Para o caráter morfológico comprimento da segunda folha (Fig. 4f) é possível verificar que a cultivar Puitá INTA CL ajustou-se a um modelo de regressão linear, apresentando uma redução de 0,04cm para cada unidade de concentração de herbicida acrescida. As cultivares sensíveis BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira não apresentaram desenvolvimento da segunda folha na presença do

herbicida, somente no tratamento controle, sem herbicida. A cultivar BRS Atalanta, sensível, apresentou desenvolvimento de segunda folha, com redução máxima até a dose $52,5\mu\text{g L}^{-1}$. A cultivar BRS Sinuelo CL, tolerante ao herbicida, apresentou redução até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$.

Considerando o desempenho individual de cada constituição genética, para a variável matéria seca de parte aérea (Fig. 4g), pode-se inferir que os genótipos se ajustaram ao modelo de regressão quadrática, exceto o genótipo Puitá INTA CL que ajustou-se a regressão linear manifestando um decréscimo de $0,00009\text{g}$ a cada unidade de concentração de herbicida adicionada. O genótipo BRS Sinuelo CL, apresentou redução até a dose $66,67\mu\text{g L}^{-1}$, reduzindo $0,0004\text{g}$ para cada incremento de unidade de concentração de herbicida, considerando o termo linear, sem alterações no termo quadrático. Já os genótipos sensíveis (BRS Pampa, BRS Fronteira, BRS Querência e BRS Atalanta) expressaram maior redução para a variável avaliada, até a dose $50\mu\text{g L}^{-1}$ demonstrando maior sensibilidade ao efeito tóxico do herbicida. Essa variável, matéria seca de parte aérea, permite discriminar genótipos sensíveis e tolerantes, a exemplo das demais épocas.

Para a variável matéria seca de parte radicular (Fig. 4h) as cultivares ajustaram-se a um modelo de regressão polinomial linear. Os genótipos BRS Pampa, BRS Querência e BRS Fronteira apresentaram os maiores coeficientes de regressão linear, expressando maior sensibilidade ao herbicida. Já o genótipo BRS Atalanta comportou-se semelhante a cultivar tolerante Puitá INTA CL demonstrando maior tolerância ao efeito tóxico do herbicida.

Pode-se verificar na Tab. 8 que todas variáveis estudadas apresentam correlações positivas e significativas entre si, aos 28 dias de desenvolvimento. Os resultados obtidos pelas curvas de dose-resposta sugerem que as variáveis nr, cr, cpa, inspf, csf e mspa são indicadas para selecionar genótipos promissores quanto à tolerância ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas, sendo necessária uma dose de $25\mu\text{g L}^{-1}$ de herbicida para que ocorra a discriminação de genótipos sensíveis e tolerantes, como a dose encontrada aos 7, quatorze e vinte e um dias de desenvolvimento. As correlações significativas indicam que as variáveis apresentam entre elas correlação de alta magnitude. Cabe evidenciar que aos 28 dias pôde-se observar morte de plantas em alguns cultivares (BRS Querência e BRS Fronteira).

Tabela 8 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis: número de raízes (nr), comprimento de raiz (cr) (em cm), comprimento de parte aérea (cpa) (em cm), inserção da primeira folha (inspf) (em cm), comprimento da primeira folha (cpf) (em cm), comprimento da segunda folha (csf) (em cm), matéria seca de parte aérea (mspa) (em g) e matéria seca de parte radicular (mspr) (em g), de seis genótipos de arroz irrigado avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0-testemunha, 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) após 28 dias de tratamento, em solução hidropônica. FAEM/UFPEL-CGF, 2011.

Variáveis	nr	cr	cpa	inspf	cpf	csf	mspa	mspr
nr	1	0,77*	0,82*	0,75*	0,62*	0,72*	0,83*	0,82*
cr		1	0,97*	0,89*	0,71*	0,94*	0,96*	0,79*
cpa			1	0,90*	0,72*	0,94*	0,98*	0,80*
inspf				1	0,87*	0,95*	0,90*	0,75*
cpf					1	0,81*	0,76*	0,67*
csf						1	0,91*	0,73*
mspa							1	0,82*
mspr								1

* Significante ao nível de 0.05 de probabilidade de erro pelo teste F.

Pode ser considerada uma variável apropriada para estudos aquela que apresentar maior magnitude da variação, ou seja, a variável mais responsiva, e que também apresente efeito significativo para interação genótipo x dose, porque discrimina de maneira eficiente as diferentes respostas das constituições genéticas frente às doses utilizadas (CAMARGO; OLIVEIRA, 1981; CAMARGO; FERREIRA, 1992; FREITAS, 2003).

Uma outra observação importante obtida nesse estudo foi na variável independente número de afilhos, que foi expressa, somente, na presença do herbicida: aos sete dias de desenvolvimento nas cultivares BRS Fronteira e BRS Atalanta; aos 14 dias de desenvolvimento, nas cultivares BRS Querência, BRS Fronteira, BRS Atalanta e BRS Sinuelo CL; aos 21 dias nas cultivares BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira, BRS Atalanta e BRS Sinuelo CL; e aos 28 dias nas cultivares BRS Pampa, BRS Querência, BRS Fronteira e BRS Sinuelo CL. A cultivar Puiá INTA CL não apresentou afilhos nesse experimento. A fase de afilhamento no arroz inicia normalmente após 30 dias de desenvolvimento, portanto o aparecimento de afilhos foi um mecanismo de defesa desenvolvido pelas cultivares para sobreviverem na presença de herbicida.

Segundo Roso et al. (2010) o bioensaio de plântulas oferece grande potencial para diferenciação entre biótipos de arroz cultivado resistentes e suscetíveis a

herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas. Salienta, também, que o estágio de plântula é, em geral, quando ocorre maior necessidade de diagnóstico da resistência em tempo real, pois representa o estágio de aplicação dos herbicidas em lavouras comerciais de arroz.

Os bioensaios com plântulas de arroz irrigado sensíveis e tolerantes a herbicida do grupo químico das imidazolinonas apresentados nesse estudo são discriminatórios no diagnóstico de tolerância e podem ser ferramentas úteis para determinação da tolerância em populações de arroz vermelho mesmo durante o desenvolvimento da lavoura, permitindo, assim, a adoção de medidas que possam manter a sustentabilidade do controle de arroz vermelho por meio de cultivares de arroz resistentes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas.

Com base nesse estudo, o diagnóstico de tolerância pode ocorrer através da observação visual de um marcador morfológico, como os que foram avaliados nessa pesquisa de plântulas expostas ao herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas (Only[®]). Esse método mostrou-se conveniente pelo fato de os resultados apresentarem boa precisão em relação à discriminação da tolerância.

A concentração de herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas que possibilita melhor discriminação entre genótipos tolerantes e sensíveis é $25\mu\text{g L}^{-1}$, conforme metodologia descrita para esse bioensaio.

A variável mais responsiva e que também apresentou efeito significativo para interação genótipo x dose, nesse estudo foi:

Para sete dias de desenvolvimento das plântulas: inserção da primeira folha.

Para 14 dias de desenvolvimento das plântulas: número de raiz, comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, inserção da primeira folha, comprimento da primeira folha e matéria seca de parte aérea.

Para 21 dias de desenvolvimento das plântulas: número de raízes, comprimento de parte aérea, inserção da primeira folha e matéria seca de parte aérea.

Para 28 dias de desenvolvimento das plântulas: número de raiz, comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, inserção da primeira folha, comprimento da segunda folha e matéria seca de parte aérea.

A variável inserção da primeira folha pode ser considerada uma variável apropriada para estudos, pois discrimina de maneira mais eficiente as diferentes respostas das constituições genéticas frente às doses utilizadas e aos períodos de

desenvolvimento, podendo ser indicada para ser utilizada como marcador morfológico. Além disso, possibilita a discriminação dos genótipos em menor tempo, podendo ser visualizada aos 7 dias de desenvolvimento das plântulas.

3.4 Conclusão

A variável inserção da primeira folha é a variável mais responsiva podendo ser usada como marcador morfológico em experimentos para seleção de genótipos de arroz irrigado tolerantes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

A dose que melhor discrimina os genótipos sensíveis e tolerantes é $25\mu\text{g L}^{-1}$.

A melhor época para discriminar os genótipos é aos sete dias de desenvolvimento.

3.5 Referências Bibliográficas

- AGOSTINETTO, D. et al. Ação residual do herbicida imazapyr aplicado em canal de Irrigação sobre a cultura do arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.181-188, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV. 365p, 2009.
- BURGOS, N. R. et al. Red rice status after five years of Clearfield™ rice. **Weed Technology**, v.22, n.1, p.200-208, 2008.
- CAMARGO, de O. C. E.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, v.49, n.1, p.21-23, 1981.
- CAMARGO, de O. C. E.; FERREIRA, A. W. P. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.3, p.417-422, 1992.
- CARVALHO, F. I. F. et al. **Estimativas e Implicações da Correlação no Melhoramento Vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 142p, 2004.
- FREITAS, F. A. **Dissimilaridade genética em arroz (*Oryza sativa* L.) quanto à toxicidade ao alumínio**. 2003. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- FURLANI, P. R. et al. Tolerância ao alumínio em cultivares de milho. In: DUARTE, A. P.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z (COORDS). **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas - 1999-2000**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. p.19-29.
- KWON, S. L. et al. Comparative growth and development of red rice (*Oryza sativa*) and rice (*Oryza sativa*). **Weed Science**, v.40, n.1, p.57-62, 1992.
- MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para Windows**. WinStat. Versão 2.0. UFPel, 2003.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et al. Método para identificação de sementes de arroz transgênico resistente ao herbicida glufosinato de amônio. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.3, n.1, p.31-38, 2000.
- NOLDIN, J. A. et al. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, n.1, p.12-18, 1999.

- NOLDIN, J. A. et al. Desempenho de populações híbridas F₂ de arroz vermelho (*Oryza sativa*) com arroz transgênico (*O. sativa*) resistente ao herbicida amonio-glufosinate. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p.385-395, 2004.
- OTTIS, B. V. et al. Imazetapir application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, n.3, p.526-533, 2003.
- PORTES, E. S. ***Eleusine indica* (L.) Gaertn. resistente a alguns inibidores de ACCase e novo método para diagnóstico de plantas daninhas resistentes aos herbicidas.** 2005. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ROSO, A. C. et al. Bioensaios para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.411-419, 2010.
- SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do BRASIL/SOSBAI. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, XXVII REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2007, Pelotas. **Anais**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS: Statistical Analysis System-Getting Started with the SAS Learning Edition**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002, 86p.
- STEELE, G. L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.
- STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1086-1093, 2006.
- VILLA, S. C. C. et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz vermelho, fluxo gênico e efeito residual do herbicida em culturas sucessoras não tolerantes. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.761-768, 2006b.
- WEBSTER, T. M. The southern states 10 most common and troublesome weeds in rice. **Proc. South. Weed Science Soc.**, v.53, n.3, p.247-274, 2000.
- YOSHIDA, S. et al. **Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice**. The international rice research institute (IRRI). Philippines. 1976.

4 CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DE CRUZAMENTOS PARA INTROGRESSÃO DE GENE DE TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS

4.1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) desempenha importante papel econômico, social e cultural em nível mundial sendo considerado, atualmente, o segundo cereal mais produzido no mundo (FAO, 2010). O Brasil é o primeiro país fora da Ásia em produção e consumo de arroz e o Rio Grande do Sul é o principal responsável por essa condição de destaque, sendo o principal produtor de arroz irrigado do país (CONAB, 2010).

Atualmente, o arroz é a cultura com maior potencial de aumento de produção, respondendo pelo suprimento de 20% das calorias consumidas na alimentação de pessoas no mundo. Esse cereal desempenha papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar. Apesar do grande volume produzido, o arroz é um produto com pequeno comércio internacional. Os dez países maiores produtores são, em ordem decrescente: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Mianmar, Filipinas, Brasil e Japão (SOSBAI, 2010).

O Rio Grande do Sul se destaca como maior produtor nacional, sendo responsável por cerca de 61% do total produzido no Brasil, seguido por Santa Catarina com produção em torno de 8 a 9%. Esse grande volume produzido nos dois estados do sul, totalizando cerca de 70%, é considerado estabilizador para o mercado brasileiro e garante o suprimento desse cereal à população brasileira. No Rio Grande do Sul, o arroz é produzido em 133 municípios localizados na metade sul do Estado, onde 232 mil pessoas vivem direta ou indiretamente da exploração dessa cultura (SOSBAI, 2010).

O fator que mais se destaca como limitante ao aumento do potencial de rendimento é o controle insatisfatório de plantas daninhas, especialmente do arroz vermelho, que ainda causa elevada redução na produção do cereal. No Sul do Brasil, o arroz vermelho (*O. sativa*) constitui-se na principal planta daninha de áreas cultivadas com arroz irrigado por inundação (AGOSTINETTO et al., 2001), por ser da mesma espécie do arroz cultivado. Em função do arroz vermelho apresentar características como rusticidade e adaptabilidade ao meio ambiente (PESKE et al., 1997), exercer forte competição pelos mesmos recursos disponibilizados para o arroz (DELATORRE, 1999), possuir elevado índice de degrane e dormência das sementes (SCHWANKE et al., 2008) e pela frequente ocorrência de cruzamento natural com o arroz cultivado, gerando um tipo morfológico mais baixo e mais precoce de arroz vermelho (NOLDIN et al., 1999), torna-se difícil a identificação e eliminação dessa planta daninha das áreas de cultivo.

Modificações morfológicas adquiridas pelas plantas daninhas associadas ao desenvolvimento de espécies resistentes aos herbicidas e à necessidade de utilização de produtos menos agressivos ao ambiente tornam necessário o desenvolvimento e validação de novos princípios ativos, que supram essas exigências. Herbicidas, como aqueles da classe das imidazolinonas, que agem especificamente em processos metabólicos vegetais, são potencialmente mais seguros do ponto de vista ambiental. Esses herbicidas são largamente utilizados devido à baixa toxicidade a animais, alta seletividade às culturas e alta eficiência mesmo em doses baixas (VARGAS; ROMAN, 2006)

A tolerância do arroz a esses novos compostos é condição determinante para o sucesso de sua incorporação no processo agrícola. A característica presente no mutante é controlada por um gene dominante nuclear (MAZUR; FALCO, 1989; SAARI et al., 1994). Portanto, o uso de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, para controle de invasoras na cultura do arroz, depende da transferência do gene às cultivares elites já incorporadas ao sistema produtivo.

Genes para resistência a herbicidas têm se tornado uma das opções mais utilizadas em nível mundial para o controle de plantas daninhas, sendo que os inibidores da enzima ALS (Acetolactato Sintase), como as do grupo químico das imidazolinonas, são amplamente utilizadas para o controle de plantas invasoras em diversas culturas. Diante dessas considerações este estudo teve como objetivo avaliar cruzamentos entre plantas de arroz irrigado tolerantes e sensíveis a

herbicidas do grupo químico das imidazolininas, através da avaliação de linhagens em geração F_2 .

4.2 Material e Métodos

Cinco genótipos de arroz irrigado indicados para cultivo na região Sul do Brasil foram cruzados, resultando em doze combinações híbridas. Três dos genitores são sensíveis ao herbicida: BRS Querência, BRS Fronteira e BRS Pampa e dois genótipos, BRS Sinuelo CL e Puitá INTA CL, tolerantes ao herbicida. As sementes F_1 foram obtidas em casa de vegetação, no ano de 2010, na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul.

No processo de hibridação controlada as flores foram emasculadas pela manhã. O terço superior das espiguetas foi cortado transversalmente com uma tesoura, posteriormente foi feita a retirada das anteras, que contém os grãos de pólen, com uma bomba de sucção. A emasculação foi feita apenas no terço médio da panícula eliminando-se a parte superior e inferior, para que todas as espiguetas se encontrassem no mesmo estágio de desenvolvimento fisiológico. As panículas emasculadas foram ensacadas e identificadas. No período da tarde (hora mais quente do dia, entre 12h30min e 13h) foi realizada a polinização através de "chuva" de pólen do genitor de interesse, sendo ensacadas imediatamente. Esse procedimento foi realizado em casa de vegetação.

No mesmo ano, foi feito um avanço de geração, onde as sementes F_1 foram germinadas em telado, sendo o experimento instalado na Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, sediada no município de Goianira, Goiás, visando à obtenção de uma população F_2 . As panículas, colhidas de cada planta individualmente, deram origem a uma progênie (população F_2).

As sementes das gerações segregantes (F_2) foram semeadas em bandejas de plástico, em casa de vegetação, na Embrapa Clima Temperado, em 2011, e quando as plantas atingiram o estágio V4, segundo escala de Counce et al. (2000), foi aplicado o herbicida Only[®] (imazetapir + imazapique, nas concentrações de 75 e 25g i.a. L^{-1}), na dosagem de 1,5 litros do produto comercial por hectare, mais Dash[®] (hidrocarboneto aromático, ésteres metílicos e poliálcool fosfatado - espalhante adesivo) na dosagem de 0,5% v/v. Após uma semana foi feita uma segunda aplicação do

mesmo herbicida na dosagem de 1,0 litro do produto comercial por hectare, mais Dash[®] na dosagem de 0,5% v/v. As sementes remanescentes foram estocadas em câmara fria.

As avaliações de fitotoxicidade à cultura foram realizadas de forma visual sete dias após a última aplicação do tratamento com Only[®], adaptadas ao sistema de pontuação utilizado pelo IRRI, para avaliar sintomas de toxidez por ferro em arroz (IRRI, 1975). Os sintomas visuais foram baseados nas reações de morte das folhas e intensidade de sintomas de toxidez, comparando com as testemunhas. As graduações obedeceram a uma escala variável de 1 a 10 (Tab. 1). Linhas de plantas tolerantes ao herbicida receberam notas 1, 2 e 3, linhas de plantas medianamente tolerantes ao herbicida receberam notas 4 e 5, linhas de plantas sensíveis ao herbicida receberam notas 6, 7, 8 e 9 e plantas mortas recebem nota 10.

Também foi avaliada percentagem de sobrevivência de plantas, através de contagem de plantas, e crescimento relativo de linhagens de arroz irrigado, através da altura das plantas, medida desde o nível do solo até o ápice da folha mais alta com régua graduada. Ambas avaliações feitas antes e após a aplicação do herbicida.

Tabela 1 - Notas atribuídas à reação das linhagens de arroz irrigado ao efeito tóxico do herbicida em geração F2. Embrapa, Pelotas / RS, 2011.

Resistência	Notas	Reação ao efeito tóxico do herbicida
Tolerante	1	planta sem sintomas
	2	20% de plantas afetadas
	3	30% de plantas afetadas
Medianamente Tolerantes	4	40% de plantas afetadas
	5	50% de plantas afetadas
Sensíveis	6	60% de plantas afetadas
	7	70% de plantas afetadas
	8	80% de plantas afetadas
	9	morte parcial da linha
Mortas	10	morte de plantas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial dose x cruzamento, constituído de 290 parcelas. Os valores referentes à percentagem de plantas vivas, em percentagem, foram transformados para $(x/100)^{1/2}$, onde x, em ambos casos representa o valor observado. Os resultados referentes à diferença de estatura foram submetidos à análise de

variância ($p \leq 0,05$) e análise de comparação de médias, através do programa estatístico WinStat (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2003).

O teste de Qui quadrado foi aplicado para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas, sendo utilizada a fórmula:

$$X^2 = \sum(o - e)^2 / e, \text{ onde:}$$

- o = frequência observada para cada classe,
- e = frequência esperada para aquela classe.

4.3 Resultados e Discussão

Dos 12 cruzamentos previstos, dez foram efetivados. Dois cruzamentos não foram obtidos por não ter ocorrido pega durante a hibridação entre os genótipos, sendo efetivadas apenas 10 hibridações (Tab. 2).

Tabela 2 - Percentagem de pega, número de sementes F₁ obtidas e número e percentual de progênies F₂ para cada cruzamento. Embrapa, Pelotas / RS, 2011.

Cruzamentos (genitor feminino/genitor masculino)	% de pega do cruzamento	Número de sementes F₁	Número de progênies F₂	% de progênies F₂*
Puitá INTA CL/BRS Querência	31,4	16	6	37,5
Puitá INTA CL/BRS Fronteira	26,9	21	16	76,19
Puitá INTA CL/BRS Pampa	51,3	40	31	77,5
BRS Sinuelo CL/BRS Querência	1,9	1	-	-
BRS Sinuelo CL/BRS Fronteira	6,2	3	1	33,33
BRS Sinuelo CL/BRS Pampa	69,7	53	42	79,24
BRS Querência/Puitá INTA CL	39,2	65	52	80
BRS Querência/BRS Sinuelo CL	12,1	15	11	73,33
BRS Fronteira/Puitá INTA CL	35,2	62	49	79,03
BRS Fronteira/BRS Sinuelo CL	0	0	-	-
BRS Pampa/Puitá INTA CL	42,6	110	83	75,45
BRS Pampa/BRS Sinuelo CL	0	0	-	-

- As sementes F₁ produzidas não originaram plantas.

* % de progênies: número de progênies/número de sementes F₁ semeadas.

O maior número de sementes foi obtido no cruzamento entre a cultivar BRS Pampa (genitor feminino) e a cultivar Puitá INTA CL (genitor masculino), indicando boa compatibilidade entre ambos, provavelmente devido à similaridade genética,

uma vez que ambas cultivares são oriundas da base genética da cultivar IRGA 417 (Tab. 2).

A percentagem de pega de cruzamentos de arroz irrigado através de hibridações varia de 40 a 60% (MAGALHÃES JR. et al., 2005). Conforme Tab. 2 pode-se afirmar que apenas três cruzamentos apresentaram percentual de pega acima de 40% representando a eficiência da técnica, os demais cruzamentos apresentaram um percentual de pega baixo. Isso pode ter ocorrido porque durante algumas fases de desenvolvimento das plantas, especialmente na fase de diferenciação do primórdio floral e microsporogênese, ocorreram temperaturas superiores a 33°C, consideradas prejudiciais à planta de arroz na fase reprodutiva (SOSBAI, 2010).

As panículas produzidas por cada uma das plantas F_1 deram origem a uma progênie. A percentagem de formação de progênies, resultado da divisão do número de progênies obtidas pelo número de sementes F_1 semeadas, variou de 33,33 a 80%. Os maiores valores, 80, 79,24 e 79,03%, foram observados nos cruzamentos BRS Querência/INTA Puitá CL, BRS Sinuelo CL/BRS Pampa e BRS Fronteira/Puitá INTA CL, respectivamente. Dos 10 cruzamentos realizados e que originaram sementes F_1 , apenas um cruzamento, BRS Sinuelo CL/BRS Querência, não originou descendentes (Tab. 2).

Foi feita aplicação de herbicida nas plantas em geração F_2 para verificar a resistência ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas. A aplicação do herbicida permitiu a identificação das plantas portadoras de tolerância ao herbicida (Tab. 3).

Entre as progênies F_2 , de um total de 100 plantas testadas em cada uma das 290 parcelas oriundas dos cruzamentos, o percentual de plantas resistentes variou de 100% nos cruzamentos Puitá INTA CL/BRS Querência, BRS Querência/Puitá INTA CL, Puitá INTA CL/BRS Fronteira, BRS Sinuelo CL/BRS Fronteira e BRS Sinuelo CL/BRS Pampa, até um mínimo de 82,65% no cruzamento BRS Pampa/Puitá INTA CL. Todas as plantas oriundas do cruzamento entre a cultivar Puitá INTA CL (genitor feminino) e a cultivar BRS Querência (genitor masculino) e do cruzamento recíproco, BRS Querência/Puitá INTA CL, foram resistentes, assim como nos cruzamentos Puitá INTA CL/BRS Fronteira, BRS Sinuelo CL/BRS Fronteira, BRS Sinuelo CL/BRS Pampa. Os cruzamentos Puitá INTA CL/BRS

Pampa, BRS Querência/BRS Sinuelo CL, BRS Fronteira/Puitá INTA CL, BRS Pampa/Puitá INTA CL apresentaram algumas plantas não resistentes ao herbicida.

Tabela 3 - Tolerância ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas em populações F₂ originadas de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao herbicida. Embrapa, Pelotas / RS, 2011.

Cruzamentos (genitor feminino/genitor masculino)	% plantas vivas após a aplicação de herbicida	χ² (3:1)	χ² (15:1)
Puitá INTA CL/BRS Querência	100	8,33*	0,42 ^{ns}
Puitá INTA CL/BRS Fronteira	100	8,33*	0,42 ^{ns}
Puitá INTA CL/BRS Pampa	98,79	7,55*	0,27 ^{ns}
BRS Sinuelo CL/BRS Querência	-	-	-
BRS Sinuelo CL/BRS Fronteira	100	8,33*	0,42 ^{ns}
BRS Sinuelo CL/BRS Pampa	100	8,33*	0,42 ^{ns}
BRS Querência/Puitá INTA CL	100	8,33*	0,42 ^{ns}
BRS Querência/BRS Sinuelo CL	99,54	8,03*	0,36 ^{ns}
BRS Fronteira/Puitá INTA CL	98,37	7,28*	0,23 ^{ns}
BRS Fronteira/BRS Sinuelo CL	-	-	-
BRS Pampa/Puitá INTA CL	82,65	0,78*	1,31 ^{ns}
BRS Pampa/BRS Sinuelo CL	-	-	-

- Os cruzamentos não originaram plantas F₂.

* Valores significativos ao nível de 5%.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5%.

O cálculo de χ^2 para os valores obtidos de plantas tolerantes foi feito considerando-se duas hipóteses: 1 - presença de um gene dominante nos genitores; 2 - presença de dois genes dominantes nos genitores. Os valores encontrados para hipótese de presença de dois genes dominantes nos genitores, segregação de 15:1 (3:3)(3:1) em F₂, não foram significativos indicando que a hipótese de presença de dois genes dominantes nos genitores pode ser aceita.

As segregações apresentadas pelos cruzamentos sugerem que a herança da resistência ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas é controlada por dominância completa, corroborando com estudos de Mazur e Falco (1989) e Saari et al., (1994) que afirmam ser, a característica presente no mutante, controlada por um gene dominante nuclear.

Na análise de variância a variável crescimento relativo de linhagens de arroz irrigado, considerando a diferença entre médias de plantas antes e após a aplicação do herbicida, variou significativamente para o fator cruzamento (Tab. 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância e teste de significância para a variável crescimento relativo de linhagens de arroz irrigado antes e após a aplicação do herbicida. Embrapa, Pelotas / RS, 2011.

Fontes de variação	GL	QM
Cruzamento	8	13,25*
Resíduo	40	3,85
Média Geral	-	3,14
CV (%)	-	62,41

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

CV= coeficiente de variação.

Na Fig. 1 (e Apêndice B1) pode-se observar o crescimento relativo médio em geração segregante F_2 .

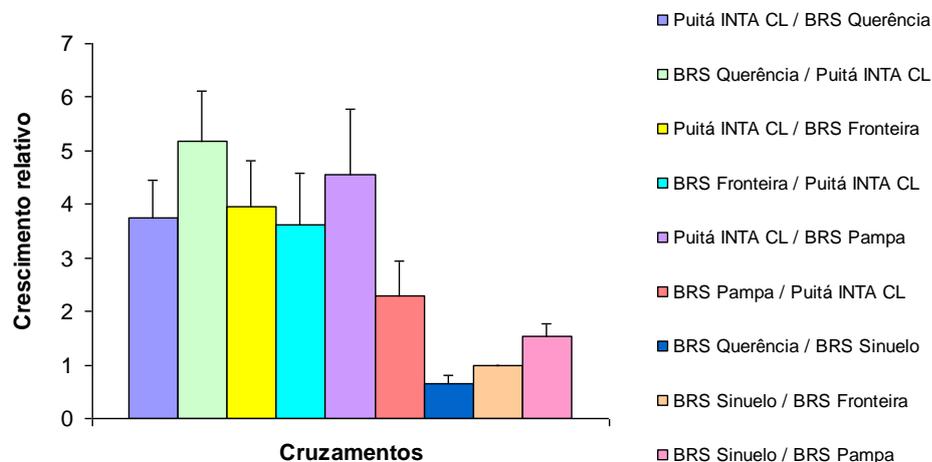


Figura 1 - Crescimento relativo médio em geração segregante (F_2) para avaliação de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas. As barras representam o erro padrão da média. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.

Pode-se observar na Fig. 1 e Apêndice B1 que o cruzamento BRS Querência/Puitá INTA CL apresentou maior crescimento relativo (5,17cm), enquanto que o menor crescimento relativo foi apresentado pelo cruzamento BRS Querência/BRS Sinuelo (0,65cm). Os cruzamentos que envolveram a cultivar BRS Sinuelo CL, genitor portador do gene de tolerância ao herbicida, apresentaram as menores médias em relação ao crescimento relativo, variando de 0,65 a 1,53cm, demonstrando menor tolerância ao efeito fitotóxico do herbicida. Os cruzamentos com a cultivar Puitá INTA CL apresentaram o maior crescimento relativo cujas médias variaram de 2,29 a 5,17cm, demonstrando maior tolerância ao herbicida.

Diversos trabalhos têm mostrado que plantas de arroz mais altas apresentam maior facilidade em competir com as plantas daninhas, principalmente, devido à quantidade de luz interceptada. Rood et al. (1990) comentam sobre a taxa de crescimento das plantas que plântulas com crescimento rápido possuem maior capacidade competitiva devido ao maior porte e área foliar que desenvolvem. Agostinetto et al. (2001) também afirmam que plantas com maior crescimento inicial beneficiam-se da maior captação de radiação, tornando-se mais competitivas, ou seja, a maior estatura de planta aumenta a habilidade competitiva, pois incrementa a massa seca total e torna a planta mais eficiente na competição por luz. Ainda Ampong-Nyarko; De Datta (1991), em estudos, relatam que a competição por luz ocorre sempre que as plantas daninhas, ao crescerem, provocam sombreamento no arroz cultivado diminuindo a intensidade e qualidade da luz recebida e que entre as cultivares de arroz existe correlação positiva entre a altura de planta e a habilidade competitiva. Kraemer et al. (2009) trabalhando com a cultura do arroz, também, observaram reduções no crescimento da cultura implantada até doze meses após a aplicação do tratamento Imazetapir + Imazapique.

As Tab. 5 e Tab. 6 ilustram a incidência de fitotoxidez, após aplicação de herbicida da classe das imidazolinonas (Only[®]), para análise de cruzamentos.

Tabela 5 - Média das notas de fitotoxidez e desvio padrão após aplicação de herbicida da classe das imidazolinonas, para análise de cruzamentos, em relação ao genitor feminino como doador do gene de tolerância ao herbicida. Embrapa, Pelotas/RS, 2011.

Genitor masculino Genitor Feminino	BRS Pampa		BRS Querência		BRS Fronteira	
	X	s	X	s	X	s
Puitá INTA CL	4,06	± 13,5	2,17	± 4	3,59	± 8,33
BRS Sinuelo CL	6,02	± 21	-	-	5,0	± 4,47

- Os cruzamentos não originaram plantas F₂.

X - Média das notas para os cruzamentos.

s - Desvio Padrão.

Ao observar a Tab. 5 pode-se inferir que os cruzamentos com a cultivar Puitá INTA CL, portador do gene de tolerância ao herbicida, como genitor feminino, apresentam médias de notas de fitotoxidez mais baixas, variando de 2,17 a 4,06, classificando os cruzamentos em tolerantes e médio tolerantes ao herbicida (conforme Tab. 1), em relação aos cruzamentos com o genitor feminino BRS Sinuelo CL que apresentam médias variando de 5 a 6,02, classificando os cruzamentos em médio tolerantes e suscetíveis ao herbicida (conforme Tab. 1). Entre os cruzamentos

com Puitá INTA CL e BRS Sinuelo CL, genitores femininos como doador do gene de tolerância ao herbicida, observa-se que o cruzamento Puitá INTA CL/BRS Querência apresentou a menor média (2,17), classificando-se como resistente (conforme Tab. 1). Essa análise deve ser repetida em F₃, pois a hipótese de ter ocorrido auto-fecundação deve ser considerada.

Tabela 6 - Média das notas de fitotoxidez e desvio padrão após aplicação de herbicida da classe das imidazolinonas, para análise de cruzamentos, em relação ao genitor masculino como doador do gene de tolerância ao herbicida. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.

Genitor masculino Genitor Feminino	Puitá INTA CL		BRS Sinuelo CL	
	X	s	X	s
BRS Pampa	6,15	± 22,13	-	-
BRS Querência	2,96	± 10,46	5,0	± 9,54
BRS Fronteira	4,24	± 12,56	-	-

- Os cruzamentos não originaram plantas F₂.

X - Média das notas para os cruzamentos.

s - Desvio Padrão.

Na Tab. 6 pode-se verificar que o cruzamento BRS Querência/Puitá INTA CL demonstrou maior tolerância apresentando média de notas de 2,96, classificando sua progênie como tolerante ao herbicida (Tab. 1). No cruzamento BRS Pampa/Puitá INTA CL, observa-se a média mais elevada (6,15) classificando a progênie como sensível ao herbicida. Esse cruzamento apresentou plantas com nota 10 (plantas mortas, conforme Tab. 1), que não apresentam o gene que codifica tolerância ao herbicida da classe das imidazolinonas, não se pode desconsiderar a hipótese de ocorrência de auto-fecundação, essa análise pode ser confirmada em F₃. O cruzamento com a cultivar BRS Sinuelo CL, que originou descendentes, apresentou fitotoxidez com média de notas igual a 5, classificando-se como medianamente tolerante.

A diferente localização das mutações no gene ALS, nas duas cultivares testadas, responsáveis pela resistência aos herbicidas dessas linhagens pode ter causado distintos níveis de resistência, devido às mudanças na conformação da enzima ALS (McCOURT et al., 2006).

Os resultados desse estudo mostram que os híbridos F₂, resultantes de cruzamentos entre cultivares portadores do gene de tolerância ao herbicida da classe das imidazolinonas (Only[®]) e cultivares de arroz irrigado convencionais, são viáveis, possibilitando assim o estabelecimento de populações de arroz irrigado

tolerantes ao herbicida, com maior capacidade de combater o arroz vermelho e com características de interesse agrônomo.

O desenvolvimento de um ideotipo de planta mais competitivo com as plantas daninhas, sem prejuízo à capacidade produtiva, reduzirá a necessidade de controle e tornará o setor orizícola mais sustentável.

4.4 Conclusão

Existem diferenças detectáveis quanto à fitotoxidez do herbicida Imazetapir e Imazapique entre as gerações F_2 dos cruzamentos de arroz irrigado utilizados nesse estudo.

Progênes F_2 descendentes de cruzamentos com a cultivar Puitá INTA CL, tolerante ao herbicida da classe das imidazolinonas (Only[®]), apresentam maior resistência ao herbicida quando comparadas com progênes descendentes de cruzamentos com a cultivar BRS Sinuelo CL.

4.5 Referências Bibliográficas

AGOSTINETTO, D. et. al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v.31, n.2, p.341-349, 2001.

ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protect**, v.24, n.4, p.375-379, 2005.

AMPONG-NYARKO, K.; De DATTA, S.K. **A handbook for weed in control in rice**. IRRI: Philippines, 1991. 113p.

BOVEY, R. W.; SENSEMAN, S. A. Response of food and forage crops to soil-applied imazapyr. **Weed Science**, v.46, n.5, p.614-617, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, agosto 2010, Brasília. 42p. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 24 janeiro 2011.

COUNCE, A. P. et al. An uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, n.2, p.466-443, 2000.

DELATORRE, C. A. Dormência em sementes de arroz vermelho. **Ciência Rural**. v.29, n.3, p.565-571, 1999.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database, Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 15 agosto 2010.

INTERNATIONAL RICE - RESEARCH INSTITUTE. **Standard evaluation system for rice**. Los Banõs, IRRI, 1975.

KRAEMER, A.F. et al. Persistência dos Herbicidas Imazetapir e Imazapique em Solo de Várzea sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Planta Daninha**, v.27, n.3, p.581-588, 2009.

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para Windows**. WinStat. Versão 2.0. UFPel, 2003.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et. al. – Cruzamentos controlados e condução de híbridos F₁ de arroz irrogado (*Oryza sativa* L.) na Embrapa Clima Temperado. Santa Maria, RS, 2005. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, IV. Santa Maria, RS. **Anais**. Santa Maria: SOSBAI, 2005. p.108-110.

MAZUR, B. J.; FALCO, S. C. The development of herbicide resistant crops. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.40, n.1, p.441-470, 1989.

McCOURT, J. A. et al. Herbicide-binding sites revealed in the structure of plant acetohydroxyacid synthase. **Proceedings of the National Academy of Science**, v.17, n.3, p.569-573, 2006.

NOLDIN, J. A. et. al. Red Rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, n.1, p.12-18, 1999.

PESKE, S. T. et. al. Sobrevivência de sementes de arroz vermelho depositadas no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.3, n.1, p.17-22, 1997.

ROOD, S. B. et al. Gibberellins and heterosis in maize: quantitative relationships. **Crop Science**, v.30, n.2, p.281-286, 1990.

SAARI, L. L. et. al. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: POWLES, S. B.; HOLTUM, J. A. M. **Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.83-139.

SCHWANKE, A. M. L. et. al. Caracterização de ecótipos de arroz daninho (*Oryza sativa*) provenientes de áreas de arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.249-260, 2008.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXVIII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2010, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: CBAI, 2010. 188p.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 22p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 58). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.htm> Acesso em: 2 outubro 2010.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A orizicultura, no Brasil, tem atingido destacado progresso ao longo dos anos, devido ao desenvolvimento de novas cultivares com maior produtividade de grãos pelos programas de melhoramento de arroz. Essa atividade tem sido de importância estratégica para o desenvolvimento do arroz no Brasil, porém o desenvolvimento de novas cultivares é um processo oneroso, que demanda muito tempo, recursos e mão-de-obra, especialmente quando envolve caracteres fortemente influenciados pelo ambiente.

O desenvolvimento de novas cultivares é um processo contínuo e extremamente complexo, portanto, quaisquer modificações metodológicas que o simplifiquem são extremamente importantes. Atualmente, o desafio é potencializar a base genética vegetal utilizada nos programas de melhoramento, visando eficiência e eficácia do uso de genes e de produtos da sua expressão.

Com base nesse estudo, o diagnóstico de tolerância a herbicida da classe imidazolinona pode ocorrer através da observação visual de um marcador morfológico, como os que foram avaliados nesse trabalho através de bioensaio, em cultivo hidropônico, envolvendo plântulas expostas ao herbicida (Only[®]). Esse método mostrou-se conveniente pelo fato de os resultados apresentarem boa precisão em relação à discriminação da tolerância e em curto tempo.

A identificação de variabilidade é um dos primeiros passos para iniciar um programa de melhoramento visando à obtenção de genótipos superiores para determinado caráter. O melhoramento visando à obtenção de genótipos tolerantes ao efeito fitotóxico do herbicida da classe imidazolinona é de fundamental interesse em regiões onde ocorre infestação de arroz vermelho em lavouras de arroz irrigado.

Os resultados obtidos nessa dissertação são de grande valia para avanços na pesquisa científica, servindo com subsídio para programas de melhoramento genético e conseqüentemente para a orizicultura. Poderão contribuir de maneira substancial para obtenção de cultivares com características de tolerância a herbicida da classe imidazolinona, seja por meio de introgressão de genes através de cruzamentos, ou mediante identificação de tolerância ao herbicida através de

marcador morfológico, pela seleção de linhagens mutantes para o caráter, bem como para screening em bancos de germoplasma que apresentem variabilidade natural.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ITEM 1 E ANEXO

BERTAN, I. **Distância genética como critério para escolha de genitores em programas de melhoramento de trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2005. 93f. Dissertação (Mestrado em Fitomelhoramento)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, agosto 2010, Brasília. 42p. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 24 janeiro 2011.

CURRAN, W.C. et. al. Effects of tillage and application method on clomazone, imazaquin and imazetapir persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

DIARRA, A. et. al. Interference of red rice (*Oryza sativa*) with ride. **Weed Science**, Champaign, v.33, p.644-649, 1985.

ELEFTHEROHORINOS, I. L.; DHIMA, K. V. Red Rice (*Oryza sativa*) control in Rice (*O. sativa*) with preemergence and postemergence herbicides. **Weed Technology**, v.16, n.3, p.537-540, 2002.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 15 agosto 2010.

MILLS, J. A.; WITT, W. W. Efficacy, phytotoxicity and persistence of imazaquin, imazetapir and clomazone in no-till double-crop soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, v.37, n.3, p.353-359, 1989.

RANGEL, P. H. N. et. al. **Conversão de Cultivares e Linhagens de Arroz para Tolerância ao Herbicida do Grupo das Imidazolinonas Utilizando o Mutante 93AS3510 - Relatório Técnico**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 42p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 231).

SOSBAI - SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXVIII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28, 2010, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: CBAI, 2010. 188 p.

STEELE, G. L. et. al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinona-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.16, n.3, p.627-630, 2002.

Tabela de distribuição de Qui quadrado, disponível em: <<http://www.cultura.ufpa.br/dicas/biome/biotaqui.htm>>. Acesso em: 14 janeiro 2011.

Apêndices

Apêndice A - Capítulo I

Caracterização de genótipos de arroz quanto à tolerância a herbicida pertencente ao grupo químico das imidazolinonas em cultivo hidropônico

Apêndice A1 - Análise de regressão polinomial para a variável número de raízes de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Número de Raízes		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	13,5*	252,20*	39,01*	54,00*	9,63 ^{ns}	25,63*
	R ²	87,85	81,77	92,99	73,77	2,75	73,85
Regressão Quadrática	QM	1,2 ^{ns}	31,01*	0,41 ^{ns}	8,53 ^{ns}	326,70*	8,53 ^{ns}
	R ²	95,66	91,82	93,96	85,43	95,97	98,44

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A2 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de raiz de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Raiz		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	305,88*	707,85*	428,41*	227,43*	292,32*	29,17*
	R ²	62,39	71,92	69,30	65,97	67,91	90,02
Regressão Quadrática	QM	152,78*	230,46*	149,19*	98,64*	110,59*	3,23 ^{ns}
	R ²	93,55	95,34	93,44	94,59	93,6	100

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A3 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	1432,83*	2464,02*	3647,21*	972,06*	961,65*	0,11 ^{ns}
	R ²	61,54	63,61	61,19	68,33	72,21	0,10
Regressão Quadrática	QM	744,01*	1205,23*	1941,66*	378,43*	334,00*	100,83*
	R ²	93,50	94,72	93,77	94,94	97,29	99,76

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A4 - Análise de regressão polinomial para a variável inserção da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Inserção da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	54,24*	94,88*	103,25*	17,96*	4,73*	3,60*
	R ²	62,97	65,07	61,56	88,56	95,35	90,91
Regressão Quadrática	QM	26,13*	42,96*	53,47*	1,68*	0,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}
	R ²	93,31	94,53	93,43	96,84	99,72	91,16

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A5 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	20,28*	266,13*	50,23*	1,56 ^{ns}	2,26 ^{ns}	5,17 ^{ns}
	R ²	80,71	67,55	72,77	98,32	75,32	90,42
Regressão Quadrática	QM	3,43 ^{ns}	113,68*	17,18*	0,02 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,06 ^{ns}
	R ²	94,38	96,4	97,65	99,66	95,89	91,48

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A6 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da segunda folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Segunda Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	1645,40* 60,00	886,46* 60,00	1718,06* 60,71	365,20* 71,39	454,66* 70,39	60,74* 93,98
Regressão Quadrática	QM R ²	914,11* 93,33	492,48* 93,33	923,52* 93,35	132,93* 97,38	157,09* 94,72	3,37 ^{ns} 99,19

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A7 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	0,0002* 71,39	0,0005* 87,83	0,0006* 64,35	0,0002* 51,58	0,0002* 79,62	7.10 ⁻⁶ ^{ns} 79,69
Regressão Quadrática	QM R ²	7.10 ⁻⁵ * 97,43	8.10 ⁻⁹ ^{ns} 87,84	0,0003* 95,57	0,0002* 96,61	4.10 ⁻⁵ * 94,42	1.10 ⁻⁶ ^{ns} 93,7

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A8 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only[®]) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos sete dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria seca de Parte Radicular		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	2.10 ⁻⁵ * 85,84	5.10 ⁻⁵ * 79,64	5.10 ⁻⁶ ^{ns} 80,3	0,0007* 77,04	5.10 ⁻⁵ * 98,88	1.10 ⁻⁵ * 99,04
Regressão Quadrática	QM R ²	3.10 ⁻⁷ ^{ns} 86,95	8.10 ⁻⁶ ^{ns} 92,13	1.10 ⁻⁶ ^{ns} 99,79	0,0002* 97,85	1.10 ⁻⁷ ^{ns} 99,14	7.10 ⁻⁸ ^{ns} 99,66

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A9 - Análise de regressão polinomial para a variável número de raízes de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Número de Raízes		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	489,61*	285,66*	118,81*	102,51*	60,80*	1,71 ^{ns}
	R ²	88,24	85,60	74,16	86,63	13,72	1,04
Regressão Quadrática	QM	1,20 ^{ns}	45,63*	37,41*	14,70 ^{ns}	330,01*	136,53*
	R ²	88,46	99,28	97,50	99,05	88,21	84,36

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A10 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de raiz de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Raiz		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	1368,36*	1181,61*	1007,25*	433,33*	313,64*	100,78*
	R ²	61,74	69,70	68,46	72,83	81,96	94,35
Regressão Quadrática	QM	703,25*	440,83*	375,24*	132,93*	62,49*	5,68 ^{ns}
	R ²	93,47	95,71	93,97	95,17	98,29	99,66

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A11 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	3940,36*	2704,70*	5028,03*	2338,79*	670,14*	122,40*
	R ²	62,67	64,64	64,20	64,79	65,62	66,11
Regressão Quadrática	QM	1991,04*	1220,49*	2325,84*	1029,02*	281,21*	50,70*
	R ²	94,34	93,81	93,90	93,29	93,16	93,50

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A12 - Análise de regressão polinomial para a variável inserção da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Inserção da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	137,76*	99,88*	143,86*	29,70*	9,35*	2,63*
		70,80	75,59	64,16	80,40	92,56	89,83
Regressão Quadrática	QM R ²	48,77*	23,23*	64,83*	4,37*	0,72 ^{ns}	0,29 ^{ns}
		95,86	93,17	93,06	92,23	99,69	99,75

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A13 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	54,48*	16,37*	62,79*	1,02 ^{ns}	2,77*	1,81*
		84,57	82,13	87,56	97,78	86,69	98,20
Regressão Quadrática	QM R ²	6,91*	3,04*	5,59*	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,03 ^{ns}
		95,30	97,38	95,36	98,93	91,73	100

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A14 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da segunda folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Segunda Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM R ²	1472,35*	1114,66*	1779,86*	336,45*	324,43*	25,34*
		60,00	60,44	62,15	65,54	67,17	95,49
Regressão Quadrática	QM R ²	817,97*	610,20*	919,64*	151,65*	129,79*	0,40 ^{ns}
		93,33	93,53	94,27	95,08	94,04	96,99

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A15 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	0,001*	0,0006*	0,0006*	0,0007*	2.10 ⁻⁵ *	6.10 ⁻⁵ *
	R ²	62,82	68,52	72,71	81,21	93,79	69,11
Regressão Quadrática	QM	0,0006*	0,0002*	0,0002*	0,0001*	6.10 ⁻⁷ ns	2.10 ⁻⁵ *
	R ²	93,50	93,35	97,47	94,82	96,76	95,17

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A16 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte radicular de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 14 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca parte Radicular		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	6.10 ⁻⁵ *	8.10 ⁻⁵ *	3.10 ⁻⁶ ns	8.10 ⁻⁶ ns	0,001*	4.10 ⁻⁶ ns
	R ²	99,56	99,42	93,08	95,93	66,94	99,46
Regressão Quadrática	QM	2.10 ⁻⁷ ns	4.10 ⁻⁷ ns	1.10 ⁻⁷ ns	3.10 ⁻⁷ ns	0,0005*	8.10 ⁻⁹ ns
	R ²	99,93	99,95	96,92	99,67	94,57	99,66

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A17 - Análise de regressão polinomial para a variável número de raízes de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Número de Raízes		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	346,56*	384,00*	400,65*	160,17*	23,60*	41,08*
	R ²	97,29	79,73	90,09	97,44	17,07	24,97
Regressão Quadrática	QM	9,63 ^{ns}	73,63*	30,30*	2,7 ^{ns}	99,01*	106,41*
	R ²	100	95,02	96,90	99,09	88,66	89,66

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A18 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de raiz de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Raiz		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	2212,22*	1467,97*	1855,04*	756,68*	887,68*	33,51*
	R ²	62,92	67,31	68,97	68,98	71,48	83,13
Regressão Quadrática	QM	1090,22*	588,30*	719,32*	279,07*	302,74*	3,33 ^{ns}
	R ²	93,93	94,28	95,71	94,42	95,86	91,40

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A19 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	5023,40*	3469,93*	6447,83*	2545,34*	1506,38*	137,42*
	R ²	62,43	61,21	61,48	61,95	76,80	74,19
Regressão Quadrática	QM	2514,42*	1830,66*	3354,92*	1305,48*	369,25*	44,71*
	R ²	93,67	93,50	93,46	93,72	95,63	98,33

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A20 - Análise de regressão polinomial para a variável inserção da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeI-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Inserção da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	116,16*	108,03*	131,13*	18,94*	4,68*	1,71*
	R ²	62,40	70,26	63,05	69,20	91,98	98,67
Regressão Quadrática	QM	58,52*	41,54*	64,68*	7,10*	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
	R ²	93,83	97,27	94,14	95,16	92,63	99,90

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A21 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	40,56*	21,09*	34,51*	1,54*	5,13*	1,78*
	R ²	85,84	88,66	84,70	89,26	94,07	76,57
Regressão Quadrática	QM	5,80*	2,44*	4,60*	0,06 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,51 ^{ns}
	R ²	98,13	98,91	95,99	92,52	96,63	98,51

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A22 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da segunda folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Segunda Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	1698,48*	1204,73*	1592,51*	314,65*	306,73*	11,76 ^{ns}
	R ²	60,00	60,34	60,00	68,02	69,55	99,10
Regressão Quadrática	QM	943,60*	661,76*	882,92*	113,10*	109,06*	0,0003 ^{ns}
	R ²	93,33	93,48	93,26	92,48	94,28	99,10

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A23 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca de Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	0,002*	0,001*	0,002*	0,0009*	0,0005*	0,0002*
	R ²	66,75	73,95	63,31	73,88	69,03	68,99
Regressão Quadrática	QM	0,0009*	0,0004*	0,001*	0,0003*	0,0002*	8.10 ^{-5*}
	R ²	92,58	93,89	93,07	95,88	94,96	91,93

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A24 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte radicular de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 21 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca de Parte Radicular		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	3.10 ⁻⁵ ns	0,002*	6.10 ⁻⁶ ns	4.10 ⁻⁶ ns	2.10 ⁻⁵ ns	4.10 ⁻⁶ ns
	R ²	89,10	88,05	95,53	25,80	99,18	90,00
Regressão Quadrática	QM	4.10 ⁻⁶ ns	7.10 ⁻⁶ ns	8.10 ⁻⁹ ns	1.10 ⁻⁶ ns	5.10 ⁻³⁵ ns	8.10 ⁻³⁵ ns
	R ²	99,88	88,34	95,66	32,67	99,18	90,00

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A25 - Análise de regressão polinomial para a variável número de raízes de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Número de Raízes		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	691,23*	783,29*	850,87*	70,73*	1,19 ^{ns}	1,93 ^{ns}
	R ²	89,28	74,82	99,74	74,63	2,30	1,22
Regressão Quadrática	QM	80,03*	235,17*	2,14 ^{ns}	17,63 ^{ns}	44,29*	145,20*
	R ²	99,62	97,29	99,99	93,24	87,96	92,92

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A26 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de raiz de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento de Raiz		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	2470,91*	1636,99*	1992,76*	1466,41*	1082,19*	62,73*
	R ²	62,90	67,65	64,12	64,35	69,00	99,13
Regressão Quadrática	QM	1239,06*	650,75*	944,42*	655,20*	395,31*	0,008 ^{ns}
	R ²	94,43	94,55	94,50	93,11	94,20	99,15

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ns Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A27 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeL-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	5850,63*	3005,73*	6068,41*	3254,08*	1763,19*	30,28*
	R ²	61,31	63,35	62,28	62,89	74,30	96,42
Regressão Quadrática	QM	3044,16*	1445,42*	3070,56*	1633,19*	439,87*	0,43 ^{ns}
	R ²	93,22	93,82	93,79	94,45	92,84	97,79

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A28 - Análise de regressão polinomial para a variável inserção da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeL-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Inserção da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	106,68*	81,69*	189,97*	30,02*	17,53*	21,77*
	R ²	61,72	75,07	68,75	75,36	97,26	91,48
Regressão Quadrática	QM	55,76*	22,16*	70,40*	9,18*	0,20 ^{ns}	0,31 ^{ns}
	R ²	94,07	95,43	94,23	98,43	98,35	92,78

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A29 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da primeira folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPeL-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Primeira Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	62,47*	16,19*	68,84*	4,73*	15,75*	46,93*
	R ²	70,02	91,08	74,65	90,71	98,64	89,99
Regressão Quadrática	QM	20,50*	1,16 ^{ns}	21,88*	0,47 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,06 ^{ns}
	R ²	93,00	97,62	98,38	99,69	98,64	90,12

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A30 - Análise de regressão polinomial para a variável comprimento da segunda folha de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Comprimento da Segunda Folha		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	1897,84*	907,29*	1667,98*	381,92*	422,18*	172,06*
	R ²	60,00	60,55	60,15	63,99	70,46	91,42
Regressão Quadrática	QM	1054,35*	490,75*	919,89*	183,27*	135,89*	4,92 ^{ns}
	R ²	93,33	93,30	93,32	94,69	93,14	94,03

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A31 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte aérea de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria Seca Parte Aérea		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	0,003*	0,001*	0,004*	0,002*	0,001*	0,0008*
	R ²	63,16	64,02	66,97	64,38	60,31	99,56
Regressão Quadrática	QM	0,002*	0,0006*	0,002*	0,0008*	0,0005*	2.10 ⁻⁶ ns
	R ²	94,14	93,80	93,64	94,44	93,30	99,83

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice A32 - Análise de regressão polinomial para a variável matéria seca de parte radicular de seis genótipos de arroz irrigado, avaliados em quatro concentrações de herbicida (Only®) (0; 25µg L⁻¹, 50µg L⁻¹ e 75µg L⁻¹) aos 28 dias de cultivo em sistema hidropônico. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas/RS, 2011.

Matéria seca Parte Radicular		Genótipos					
		BRS Pampa	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Atalanta	BRS Sinuelo CL	Puitá INTA CL
Regressão Linear	QM	7.10 ⁻⁵ *	0,0001*	0,0001*	1.10 ⁻⁵ *	4.10 ⁻⁶ *	1.10 ⁻⁵ *
	R ²	81,27	91,46	90,98	86,61	93,73	91,90
Regressão Quadrática	QM	1.10 ⁻⁵ *	1.10 ⁻⁶ *	3.10 ⁻⁶ *	1.10 ⁻⁶ *	8.10 ⁻⁹ ns	8.10 ⁻⁷ ns
	R ²	99,19	92,61	92,90	97,77	93,91	99,46

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

QM= quadrado médio.

Apêndice B - Capítulo II

Avaliação de cruzamentos para introgressão de gene de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Apêndice B1 - Crescimento relativo médio em geração segregante (F_2) para avaliação de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao herbicida do grupo químico das imidazolinonas. Embrapa, Pelotas/ RS, 2011.

Cruzamentos	Média
BRS Querência / Puitá INTA CL	5,17 a
Puitá INTA CL / BRS Pampa	4,55 ab
Puitá INTA CL / BRS Fronteira	3,96 abc
Puitá INTA CL / BRS Querência	3,74 abcd
BRS Fronteira / Puitá INTA CL	3,62 abcd
BRS Pampa / Puitá INTA CL	2,29 abcd
BRS Sinuelo / BRS Pampa	1,53 bcd
BRS Sinuelo / BRS Fronteira	1,00 cd
BRS Querência / BRS Sinuelo	0,65 d

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Anexo

Anexo A

Descrição de algumas características das cultivares utilizadas nessa pesquisa:

BRS Pampa – Cultivar desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado. Apresenta planta do tipo “moderno”, de folhas pilosas, estatura média, ciclo precoce e com ampla adaptação no Rio Grande do Sul. Possui excelente produtividade, boa tolerância ao acamamento e às doenças predominantes. Seus grãos são longo-finos, de casca pilosa-clara, com baixa incidência de centro branco e alto rendimento industrial de grãos inteiros. Apresenta excelentes atributos de cocção comparados aos melhores cultivares destacadas pela indústria gaúcha, com textura solta e macia após a cocção (SOSBAI, 2010).

BRS Querência – Cultivar desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado, de ciclo precoce e apresenta do tipo agrônômico “moderno-americano”, de folhas e grãos lisos, com colmos fortes e alta capacidade de afilhamento. Destaca-se pela panícula longa e com grande número de espiguetas férteis. Seus grãos são longo-finos, com elevado rendimento industrial, translúcidos e de ótima qualidade culinária. Apresenta moderada resistência a doenças (SOSBAI, 2010).

BRS Fronteira – Cultivar de ciclo médio, com plantas do tipo agrônômico “moderno” e folhas lisas, desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado. Apresenta ampla adaptação no Rio Grande do Sul, com boa tolerância ao acamamento e às doenças. Seus grãos são longo-finos, de ótima qualidade, com baixa incidência de centro branco e com textura solta e macia após a cocção (SOSBAI, 2010).

BRS Atalanta – É uma cultivar de ciclo muito precoce, apresentando folhas lisas. Possui grãos longos e finos e de casca lisa-clara. Apresenta alto potencial produtivo, boa qualidade de grãos e é moderadamente resistente à bicheira-da-raiz. Cultivar desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado (SOSBAI, 2010).

BRS Sinuelo CL – A cultivar BRS Sinuelo CL, desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado, é oriunda do retrocruzamento entre a cultivar comercial BRS 7

"Taim" e AS3510, fonte de tolerância aos herbicidas de classe das imidazolinonas. Avaliações moleculares apontam para uma recuperação de cerca de 88% do genoma da BRS 7 "Taim". Apresenta ciclo médio, plantas do tipo moderno, com boa tolerância ao acamamento e às doenças, folhas lisas e grãos longo-finos de casca lisa (SOSBAI, 2010).

Puitá INTA CL – Cultivar desenvolvida pelo INTA (Argentina) e registrada para cultivo no Brasil pela BASF S.A., derivado da cultivar IRGA 417 por mutagênese. É recomendado exclusivamente para o sistema de produção Clearfield®, que tem como principal objetivo o controle de arroz vermelho. Possui maior tolerância aos herbicidas Only e Kifix. Apresenta estatura de planta baixa, folha pilosa e média suscetibilidade à toxidez por ferro. Destaca-se pela excelente qualidade e alto rendimento industrial de grãos inteiros. É indicada para cultivo em todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul (SOSBAI, 2010).

Anexo B

Tabela de distribuição de Qui quadrado.

Fonte: <http://www.cultura.ufpa.br/dicas/biome/biotaqui.htm>

Distribuição de Qui quadrado - χ^2

GL\p	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
01	,0002	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
02	0,020	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
03	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
04	0,297	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
05	0,554	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,080	20,515
06	0,872	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
07	1,239	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
08	1,646	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
09	2,088	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	2,558	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	3,053	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	3,571	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	4,107	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	4,660	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	5,229	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	5,812	7,692	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	6,408	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	7,015	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	7,633	10,117	11,651	13,716	15,332	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	8,260	10,851	12,443	14,572	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315

VITAE

Gabriela de Magalhães da Fonseca, nascida em 22/07/1982 em Pelotas/RS. Técnica em Química, formada pelo IFSul/Pelotas em 2001, e Engenheira Agrônoma formada pela Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) em 2008. No ano de 2007, iniciou estágio na Embrapa Clima Temperado, Rio Grande do Sul recebendo treinamento em Melhoramento Vegetal de arroz irrigado, sob orientação do pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior, participando de vários congressos e reuniões técnicas de pesquisa. Em março de 2009, iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitomelhoramento, sob orientação do professor PhD. Antonio Costa de Oliveira e co-orientação do pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior, concluindo em 2011. Em 2010 iniciou estágio na Embrapa Clima Temperado, Rio Grande do Sul atuando na área de Melhoramento Vegetal de arroz irrigado, sob orientação do pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior, no qual ainda está inserida. No mesmo ano, ingressou no doutorado em fitomelhoramento, sob orientação do prof. Dr. Luciano Carlos da Maia.