

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-graduação em Fitossanidade



DISSERTAÇÃO

**Adaptabilidade, competitividade e nível de dano econômico de *Cyperus esculentus* L. na cultura do arroz irrigado**

**Nixon da Rosa Westendorff**

Pelotas, 2012

**NIXON DA ROSA WESTENDORFF**

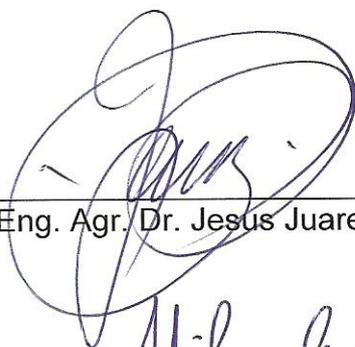
**ADAPTABILIDADE, COMPETITIVIDADE E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE  
*Cyperus esculentus* L. NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

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

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Agostinetto

Pelotas, 2012

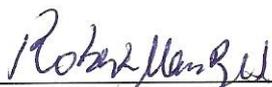
**Banca Examinadora:**



Eng. Agr. Dr. Jesus Juarez Oliveira Pinto



Eng. Agr. Ph.D. Nilson Gilberto Fleck



Eng.ª Agr.ª Dr.ª Roberta Manica-Berto



Eng. Agr. Dr. Dirceu Agostinetti  
(Orientador)

*À minha amada esposa Alessandra Pereira Rodrigues, pelo carinho, compreensão,  
incentivo e cumplicidade.*

**OFEREÇO E DEDICO**

## **Agradecimentos**

À minha mãe, Clara Ieda da Rosa Westendorff, que me ensinou a enfrentar os obstáculos da vida de cabeça erguida e sempre acreditando que tudo pode melhorar. Ao meu pai, Alfeu Fernandes Westendorff (*in memoriam*) por ter me transferido o gosto pela agricultura. Aos meus sogros, Jaime Dias Rodrigues Neto e Nara Maria Pereira Rodrigues, pelo apoio incondicional e pela compreensão nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dirceu Agostinetto, pela demonstração de compromisso com a educação e pelo entusiasmo e austeridade com que orientou meu caminho.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e a Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) pela qualidade no trabalho que realiza, mesmo que muitas vezes, sem possuir as condições adequadas.

Ao Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPel, pela possibilidade de realização do curso de pós-graduação.

Ao Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) Campus Conjunto Agrotécnico “Visconde da Graça” (CAVG), pela cedência da área para a pesquisa de campo.

A todos os integrantes do Centro de Herbologia (CEHERB), que de uma maneira ou outra, participaram da fase experimental da pesquisa e pelos bons momentos de trabalho que passamos juntos, em muito especial, ao colega de pós-graduação e amigo André da Rosa Ulguim, pela parceria incondicional. Especiais agradecimentos à Prof.<sup>a</sup> Roberta Manica-Berto e ao colega de pós-graduação Marcos André Nohatto, pelo auxílio em fases estatísticas da pesquisa, e aos estagiários de graduação Laís Tessari Perboni, Bruno Moncks da Silva, Lucas Thürmer, Marcelo Timm Holz e Thiago Vieira Duarte pela efetiva presteza para condução dos trabalhos.

## Resumo

WESTENDORFF, Nixon da Rosa. **Adaptabilidade, competitividade e nível de dano econômico de *Cyperus esculentus* L. na cultura do arroz irrigado.** 2012. 86f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As plantas daninhas são responsáveis por grande parte da redução de produtividade das lavouras de arroz irrigado. A espécie *Cyperus esculentus*, pertencente à família Cyperaceae, destaca-se pela adaptação ao ambiente irrigado. Pouco se conhece sobre a habilidade competitiva da espécie com a cultura do arroz e qual é a dimensão do prejuízo econômico causado. O nível de dano econômico (NDE) tem sido importante ferramenta na quantificação de prejuízos às culturas, além de subsidiar a tomada de decisão de quando é compensatória a adoção de medida de controle. As vantagens mais evidentes do uso de NDE na tomada de decisão são diminuição dos custos de produção, menor uso de herbicidas e, com isso, menor contaminação do ambiente e do homem e minimização do processo de seleção que torna as plantas daninhas resistentes. Os objetivos dessa pesquisa foram o estudo do valor adaptativo, da habilidade competitiva e a determinação do NDE de *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado, pelo uso do modelo matemático de regressão não linear derivado da hipérbole retangular, em função do ciclo das cultivares de arroz irrigado, época de irrigação e população da planta daninha. Para tal, foram conduzidos estudos de adaptação e competição a campo e em casa de vegetação no ano agrícola 2010/11. Em geral, as cultivares de arroz estudadas possuem valor adaptativo superior a *C. esculentus*. Para a cultura do arroz, a competição intraespecífica é mais importante, enquanto que para a planta daninha a competição interespecífica é a mais pronunciada. O modelo hiperbólico estima satisfatoriamente as perdas de produtividade que *C. esculentus* causa à cultura do arroz. A variável explicativa população de *Cyperus esculentus* é a que mais se ajustou ao modelo. A redução no ciclo de desenvolvimento da cultivar de arroz e a antecipação da irrigação incrementam o potencial competitivo da cultura e, conseqüentemente, aumentam os NDE de *C. esculentus*.

Palavras-chave: Tiririca-amarela, *Oryza sativa* L., competição, modelo matemático.

## Abstract

WESTENDORFF, Nixon da Rosa. **Adaptability, competitiveness and economic thresholds of *Cyperus esculentus* L. in irrigated rice.** 2012. 86f. Dissertation (Master in plant protection) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Weeds are responsible for most part of the reduction in rice yield. The species *Cyperus esculentus*, a Cyperaceae plant, stands out by adaptation to the flooded environment. Little is known about the competitive ability of the specie rice and what is the extent of the economic loss caused. The economic thresholds (ET) has been an important tool to quantify weed damage to crops, in addition to supporting decision making of when the adoption of compensatory measure of control. The most obvious consequences of the use of ET in decision making are reduction of production costs, less use of herbicides and thereby benefitting the environment and man, and minimization of the selection pressure that select weeds resistant. The objectives of this research were to study the adaptive value, the competitive ability and the determination of ET for *C. esculentus* on flooded rice, using mathematical model for nonlinear regression derived from the rectangular hyperbolic, depending on the cycle of rice cultivars, irrigation timing and population of the weed. Studies were conducted for adaptation and competition in the field and greenhouse in the 2010/11 growing season. In general, the rice cultivars studied have superior adaptive value than *C. esculentus*. For rice, the intraspecific competition is more important, while for the weed interspecific competition is more pronounced. The hyperbolic model satisfactorily estimates the yield losses that *C. esculentus* causes in rice. The explanatory variable is the population of *Cyperus esculentus* that best fit the model. The reduction in the development cycle of rice cultivar and the anticipation of irrigation, increase the competitive potential of the culture and consequently increase the *C. esculentus* ET.

Keywords: Yellow nutsedge, *Oryza sativa* L., competition, mathematical model.

## Lista de figuras

- Figura 1 - Estaturas de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11.....29
- Figura 2 - Áreas foliares de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11.....30
- Figura 3 - Massa da matéria seca da parte aéreas de biótipo de *Cyperus esculentus* e cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliadas dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11 .....31
- Figura 4 - Massa seca das raízes (MSR) média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11 .....32
- Figura 5 - Massa seca total média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11 .....33
- Figura 6 - Taxa de crescimento média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11 .....34
- Figura 7 - Razão da área foliar de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11.....35
- Figura 8 - Produtividades relativa (PR) e total (PRT) área foliar (AF) e da massa da matéria seca da parte aérea da cultivar de arroz BRS Querência e de biótipo de *Cyperus esculentus*, em função da proporção de plantas. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11 .....36

Figura 9 - Perda de produtividade (Pp) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência, em função de níveis populacionais de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	48
Figura 10 - Perda de produtividade (Pp) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência em função da cobertura estimada do solo pela parte aérea de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	49
Figura 11 - Perda de produtividade (Pp) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência em função da massa da matéria seca da parte aérea de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	50
Figura 12 - Perda de produtividade (Pp) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e níveis populacionais de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	54
Figura 13 - Perda de produtividade (Pp) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e cobertura estimada do solo pela parte aérea de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	55
Figura 14 - Perda de produtividade (Pp) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e a massa da matéria seca da parte aérea de <i>Cyperus esculentus</i> aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	56
Figura 15 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para duas cultivares de arroz irrigado em função do custo de controle de <i>C. esculentus</i> . IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	68
Figura 16 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para duas cultivares de arroz irrigado em função do preço pago pela saca de 50kg arroz em casca. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.....	68
Figura 17 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para duas cultivares de arroz irrigado em função da produtividade de grãos. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.....	69
Figura 18 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para duas cultivares de arroz irrigado em função da eficiência do controle herbicida. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	69
Figura 19 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função do custo de controle de <i>C. esculentus</i> e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11...	72
Figura 20 - Níveis de dano econômico (NDE) de <i>Cyperus esculentus</i> para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função do preço pago pela saca de 50kg arroz em casca e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....	72

- Figura 21 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função da produtividade de grãos e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....73
- Figura 22 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função da eficiência de controle do herbicida e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 ..73

## Lista de tabelas

- Tabela 1. Diferenças relativas para as variáveis massa da matéria seca da parte aérea e área foliar da cultivar de arroz BRS Querência e de biótipo de *Cyperus esculentus*. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2010/11 .....37
- Tabela 2. Índices de competitividade entre a cultivar de arroz BRS Querência e biótipo de *Cyperus esculentus*, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2011 .....38
- Tabela 3. Diferenças entre plantas associadas ou não da cultivar de arroz BRS Querência com *Cyperus esculentus* para massa da matéria seca da parte aérea e área foliar. FAEM/UFPEL, Capão do Leão, 2010/11 .....39
- Tabela 4. Perda de produtividade de grãos de arroz irrigado em função da população de *Cyperus esculentus* ( $m^{-2}$ ) aos 25 dias após a emergência da cultura (DAE) e de duas cultivares de arroz de diferentes ciclos vegetativos, IFSul, Campus CAVG, Pelotas-RS, 2010/11 .....66
- Tabela 5. Perda de produtividade de grãos de arroz irrigado em função de populações de *Cyperus esculentus* ( $m^{-2}$ ) aos 25 DAE, e de duas épocas de início de irrigação, IFSul, Campus CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.....71

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO I – Valor adaptativo e habilidade competitiva de <i>Cyperus esculentus</i> e arroz irrigado.....</b>	<b>22</b>
2.1	Introdução .....	22
2.2	Material e métodos.....	24
2.3	Resultados e discussão .....	28
2.4	Conclusões .....	40
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO II – Estimativa de perda de produtividade de grãos da cultura do arroz irrigado em função do ciclo de cultivares e épocas de irrigação da cultura, quando em competição com <i>Cyperus esculentus</i> .....</b>	<b>41</b>
3.1	Introdução .....	41
3.2	Material e métodos.....	44
3.3	Resultados e discussão .....	47
3.4	Conclusões .....	59
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO III – Adoção de níveis de dano econômico para decisão de controle de <i>Cyperus esculentus</i> na cultura do arroz irrigado.....</b>	<b>60</b>
4.1	Introdução .....	60
4.2	Material e métodos.....	62
4.3	Resultados e discussão .....	65
4.4	Conclusões .....	75
<b>5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>Referências.....</b>	<b>78</b>

## 1 Introdução

O arroz é o cereal mais consumido e, depois do milho, o mais cultivado no mundo, ocupando área de, aproximadamente, 158 milhões de hectares (SOSBAI, 2010). O Brasil é o 9º maior produtor mundial e o maior produtor do cereal fora da Ásia (FAO, 2010). Na safra 2010/11 o arroz ocupou área de cerca de 2,8 milhões de hectares no país, com produção de 13,8 milhões de toneladas, sendo a Região Sul a maior produtora (72%) e o Estado do Rio Grande do Sul (RS) o maior produtor (CONAB, 2011). O RS é responsável por cerca de 40% da área cultivada (1,16 milhões de ha) e por aproximadamente 64% da produção nacional do cereal (CONAB, 2011).

A produtividade média da lavoura arrozeira vem aumentando desde a década passada (IRGA, 2011b); porém, ainda é inferior à alcançada em nível experimental estando a cultura aquém do máximo potencial produtivo (AGOSTINETTO; GALON, 2010). Esse fato decorre porque a lavoura arrozeira está sujeita a uma série de fatores do ambiente que influenciam a produtividade, qualidade e custo de produção, dentre eles, o controle insatisfatório das plantas daninhas (FLECK et al., 2008).

Estudos evidenciaram que a ausência de controle das plantas daninhas na cultura do arroz irrigado pode ocasionar perdas de produtividade superiores a 80% (ANDRES; MACHADO, 2004; FLECK et al., 2004). Assim, as plantas daninhas assumem lugar de destaque negativo no crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz.

A competição entre plantas poder ser intra ou interespecífica, ocorrendo quando um ou mais recursos necessários ao seu desenvolvimento e crescimento encontram-se em quantidade limitada para atender às necessidades de todos os

indivíduos presentes no meio. Existem duas teorias sobre a competição de plantas, conhecidas como teorias de Grime e de Tilman (RADOSEVICH et al., 2007). Segundo a teoria de Grime, plantas competidoras possuem elevada velocidade de apropriação dos recursos do meio, tornando esses recursos indisponíveis aos seus vizinhos. Já, a teoria de Tilman, propõe que as plantas competidoras necessitam de menos recursos e, portanto, conseguem sobreviver em ambientes menos favoráveis (RADOSEVICH et al., 2007).

A determinação dos prejuízos causados à cultura pela competição das plantas daninhas varia em função da duração da competição, pois essa vai alterar o desenvolvimento e o crescimento das espécies envolvidas e, por consequência, afetar a produtividade da cultura (CHRISTOFFOLETI; VICTÓRIA FILHO, 1996; LAMEGO et al., 2004; FLECK et al., 2008).

Fatores relacionados à comunidade de plantas daninhas (espécie, população, distribuição e época de emergência), bem como relacionados à cultura (espécie ou cultivar, espaçamento entre linhas e população) determinarão o grau de competição (AGOSTINETTO et al., 2008). A competição exercida pela cultura pode ser usada como ferramenta para suprimir o crescimento das plantas daninhas e aumentar sua mortalidade (MORTENSEN et al., 2000; RIZZARDI et al., 2003a), diminuindo, dessa forma, as perdas da cultura e a produção de propágulos pelas plantas daninhas. Sendo assim, a cultura é considerada competitiva quando mantém seu potencial de produtividade mesmo na presença das plantas daninhas (cultura tolerante) ou, ainda, quando efetivamente reduz o crescimento dessas plantas (cultura supressora) (COUSENS; MOKHTARI, 1998; MORTENSEN et al., 2000).

As espécies pertencentes ao gênero *Cyperus* destacam-se entre as principais plantas daninhas da lavoura arrozeira, sendo responsáveis por perdas de produtividade da cultura. Dentre as ciperáceas, *Cyperus esculentus* (CYPES), vulgarmente chamada de tiririca-amarela, é a mais adaptada às várzeas úmidas (ERASMO et al., 2003; KISSMANN, 2007) e sua propagação ocorre por sementes e tubérculos, o que dificulta o controle. Além da competição direta, a espécie afeta culturas pela liberação de compostos fenólicos com efeitos alelopáticos que podem suprimir o desenvolvimento da cultura (DROST; DOLL, 1980; KISSMANN, 2007; BUZSÁKI et al., 2008).

A importância e a presença de *C. esculentus* em áreas de várzea já foram demonstradas em estudos fitossociológicos (ERASMO et al., 2004; TUFFI SANTOS

et al., 2004). Em áreas com rotação arroz/soja, identificaram-se oito famílias e 12 espécies daninhas, destacando-se as famílias Poaceae e Cyperaceae com os maiores números de espécies sendo *C. esculentus* a espécie com o maior índice de importância relativa (91,4%) (ERASMO et al., 2004).

Verificaram-se perdas ocasionadas por *C. esculentus* competindo com a cultura do arroz, a partir dos 25 dias de convivência, afetando negativamente a produtividade de grãos da cultura. Em população de 200 plantas m<sup>-2</sup>, ocorreu perda de produtividade da ordem de 20% para convivência de 35 dias após a emergência da cultura (DAE), com a cultivar EPAGRI 109 (ERASMO et al., 2003). Outro estudo revelou que população de 40 plantas m<sup>-2</sup> de *C. esculentus* até o período da colheita proporcionou perda de produtividade de grãos de arroz irrigado na ordem de 39% (ALCÂNTARA, 1999).

Uma das formas de reduzir as perdas causadas pelas plantas daninhas na cultura do arroz irrigado é aumentar a capacidade competitiva das cultivares (BALBINOT JR. et al., 2001). Essa inferência também pode ser adequada para minimizar a competição de *C. esculentus* em arroz. O aumento da competitividade de cultivares é atribuído a fatores como emergência precoce, maior vigor, aumento da taxa de expansão foliar, rápido desenvolvimento do dossel, maior estatura de planta, ciclo precoce e aumento no tamanho de raízes (BERKOWITZ, 1988). A utilização de cultivares com essas características e, por consequência, com maior habilidade competitiva pode, em parte, minimizar os efeitos da competição exercida pelas plantas daninhas (FLECK et al., 2004).

Práticas diferenciadas de manejo da cultura também podem fornecer vantagem competitiva da cultura contra a competição exercida pelas plantas daninhas. O manejo da irrigação, por exemplo, pode estabelecer essa vantagem, ou seja, quanto mais precoce a irrigação, além de favorecer a ação e a eficiência dos herbicidas (ANDRES et al., 2007), traz outros benefícios à cultura tais como: disponibilização de nutrientes da fase sólida para a fase líquida do solo, pelo aumento do pH (SILVA et al., 2008), diminuição da incidência de determinadas pragas e doenças (SOSBAI, 2010) e diminuição do O<sub>2</sub>, causando anoxia às plantas daninhas menos adaptadas à inundação, com consequente supressão de sua população (CONCENÇO et al., 2006; ANDRES et al., 2007). A lâmina d'água também atua como barreira física, impedindo a emergência de novos fluxos para

diversas espécies daninhas em arroz irrigado (ANDRES; MACHADO, 2004; CONCENÇO et al., 2006; AGOSTINETTO et al., 2011).

A relação entre eficiência de controle por herbicidas, associada a práticas de manejo de irrigação, têm sido estudada. O herbicida penoxsulam, por exemplo, controla satisfatoriamente *C. esculentus* e *Echinochloa* spp. quando a irrigação é realizada em épocas iniciais (AGOSTINETTO et al., 2011). Ao contrário, com o atraso da irrigação na lavoura dos 20 para os 35 DAE, houve perdas de produtividade de grãos da ordem de 20%, em função da diminuição da ação herbicida, com conseqüente aumento da competição das plantas daninhas (ANDRES et al., 2007). Perdas de produtividades ainda superiores, de 57%, também ocorreram quando penoxsulam foi aplicado para o controle de *Echinochloa* spp. e a irrigação na área foi realizada aos 30 DAE, em comparação à irrigação aos 21 DAE (PINTO et al., 2008).

Estudos de adaptabilidade ou valor adaptativo (*fitness*) de uma espécie constitui importante ferramenta para entender o comportamento dos componentes de crescimento, sobrevivência e produção de sementes viáveis das espécies, em função do aproveitamento dos recursos de crescimento em determinado nicho ecológico (RADOSEVICH et al., 2007). Estudos dessa natureza foram realizados para avaliar e comparar o valor adaptativo entre genótipos de arroz selvagens e resistentes aos inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), sob condições de estresse ambiental (JUNG et al., 2010); biótipos suscetíveis e resistentes de *Euphorbia heterophylla* ao glyphosate (NOHATTO, 2010); arroz e biótipos suscetível e resistente de *Fimbristylis miliacea* aos inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) (SCHAEDLER, 2011); e, biótipos resistentes e suscetíveis de *Bidens subalternans* aos inibidores da ALS (LAMEGO et al., 2011). Esses estudos permitem inferências sobre o balanço e a tendência de domínio populacional de espécies quando em competição.

Outra ferramenta bastante utilizada em herbologia para medir a competitividade das culturas com as plantas daninhas são os estudos conduzidos em série de substituição (COUSENS, 1991; GIBSON et al., 1999; AGOSTINETTO et al., 2008; FLECK et al., 2008; RIGOLI et al., 2008; DAL MAGRO et al., 2011; LAMEGO et al., 2011; SCHAEDLER, 2011), os quais possibilitam comparar a competição inter e intraespecífica, visando indicar qual genótipo ou espécie é mais competitivo (RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991; RADOSEVICH et al., 2007).

Esse tipo de experimento é utilizado com o intuito de medir as produtividades das associações entre espécies, principalmente entre culturas e plantas daninhas, para que essas possam ser comparadas às do respectivo monocultivo (RIGOLI et al., 2008; LAMEGO et al., 2011).

Outra eficiente forma de inferir sobre a interferência das plantas daninhas sobre a cultura é através da quantificação do dano exercido por população conhecida da infestante sobre o crescimento e a produtividade da cultura (FLECK et al., 2002). Para isso, pode-se recorrer aos modelos matemáticos que permitem prever, já em fases iniciais do crescimento, a provável perda de produtividade e os possíveis lucros esperados em determinadas situações (COUSENS, 1985; KROPFF; SPITTERS, 1991; KROPFF; LOTZ, 1992; AGOSTINETTO et al., 2004).

Os modelos matemáticos podem ser instrumentos úteis para descrever, estimar ou simular os impactos causados pela competição das plantas daninhas às culturas, podendo contribuir para a escolha das decisões de manejo e, conseqüentemente, reduzir o uso de herbicidas (ADATI et al., 2006; PORTUGAL; MOREIRA, 2009). Essa redução, além de minimizar os custos de produção, pode diminuir impactos ambientais causados pela utilização dos herbicidas e amenizar a pressão de seleção que tornam as plantas daninhas resistentes ao seu uso.

Os modelos matemáticos encontrados na literatura para associar as perdas de produtividade das culturas em competição com plantas daninhas são, geralmente, classificados em dois grupos: empíricos e ecofisiológicos. Nesse sentido, muitos estudos foram desenvolvidos utilizando equações empíricas para avaliar a competição entre culturas e plantas daninhas (DIELEMAN et al., 1995; KNEZEVIC et al., 1997; RIZZARDI et al., 2003a; AGOSTINETTO et al., 2004; RIZZARDI; FLECK, 2004). Os resultados desses estudos mostram que equações empíricas podem não explicar diretamente as respostas biológicas, nem tampouco prever perdas de produtividade da cultura para diferentes locais e anos; porém, podem ser utilizadas na inferência dos resultados da competição entre cultura e espécie daninha em situação específica.

Os modelos ecofisiológicos baseiam-se no princípio de que o processo competitivo pelos recursos de crescimento (água, luz e nutrientes) é dinâmico e poliespecífico, bem como a eficiência de cada espécie na apropriação dos mesmos (LINDQUIST; KROPFF, 1996). Assim, embora os resultados gerados possam ser mais precisos, esses modelos tornam-se complexos, tendo em vista que necessitam

grande quantidade de informações que raramente estão disponíveis (KNEZEVIC et al., 1999; RADOSEVICH et al., 2007).

Dentre os modelos utilizados para prever perdas de produtividade, encontrados na literatura, estão os lineares, não lineares e mistos. Os modelos não lineares incluem, dentre outras, a equação hiperbólica, a qual relaciona a perda de produtividade comparada à da testemunha livre de infestação. Este modelo foi primeiramente descrito por Cousens (1985), que ajustou o modelo empírico (hiperbólico) para a predição da perda de produtividade em função da população de planta daninha competidora. Os resultados mostraram que o modelo ajustado obteve superioridade na predição das perdas quando comparado com outros, como o linear e o quadrático (COUSENS, 1985).

No início da interferência entre as plantas daninhas e a cultura, a competição interespecífica por recursos do solo, como água e nutrientes, acarreta reduções crescentes (lineares) nas perdas de produtividade (RADOSEVICH et al., 2007). Em certo ponto dessa interferência, as plantas começam a competir por luz e, dessa forma, inicia-se a competição intraespecífica e a forma do modelo para perda de produtividade passa a ser não linear (RADOSEVICH et al., 2007). O modelo hiperbólico descreve adequadamente a perda de produtividade, refletindo o efeito da competição intraespecífica com o aumento do nível de infestação (COUSENS, 1985). Assim, os modelos matemáticos não lineares, principalmente o hiperbólico, podem ser instrumentos úteis e bastante adequados para descrever, estimar e simular os impactos causados pela interferência de plantas daninhas em determinadas culturas, podendo contribuir para a escolha das decisões de manejo e, conseqüentemente, redução no uso de herbicidas (ADATI et al., 2006).

O modelo hiperbólico possui dois parâmetros de significância biológica e agrônômica ( $i$  e  $a$ ) que, de maneira simples, descrevem as perdas de produtividade associadas à competição promovida pelas plantas daninhas (COUSENS, 1985). O parâmetro  $i$  do modelo, também relatado como nível crítico de dano (NCD) (AGOSTINETTO; GALON, 2010), refere-se à perda de produtividade da cultura quando a população de plantas daninhas aproxima-se de zero. Já o parâmetro  $a$  do modelo refere-se à perda de produtividade da cultura quando a população de plantas daninhas tende ao infinito (COUSENS, 1985).

Como o modelo hiperbólico possui simplicidade e relevância agrônômica associadas (COUSENS, 1985), a utilização de seus parâmetros são amplamente

relatados na literatura para explicar as perdas de produtividade das culturas por efeito da competição com plantas daninhas (KALSING; VIDAL, 2010), principalmente para culturas de grande importância econômica, como trigo, soja, milho, algodão, arroz e feijão.

Uma crítica constantemente referida ao modelo hiperbólico é que, em muitas situações, ele pode superestimar as perdas quando a população da planta daninha tende ao infinito, perdas essas que podem superar 100%. Outra crítica feita ao modelo reside em que sua aplicação só é satisfatória em competição de uma única espécie daninha com a cultura. Como em condições reais dificilmente a competição é monoespecífica, mas sim poliespecífica, o modelo não seria adequado na predição das perdas em tais situações (VIDAL et al., 2010).

Algumas variáveis explicativas são relacionadas para uso do modelo para identificar de maneira satisfatória as perdas de produtividade em culturas. População de infestantes, massa da matéria seca da parte aérea, área foliar e cobertura do solo das plantas daninhas são as mais utilizadas (RIZZARDI et al., 2003b; FLECK et al., 2004; AGOSTINETTO et al., 2007). Em estudo, a variável população de plantas infestantes apresentou melhor ajuste dos dados ao modelo, comparativamente às demais, quando cultivares com diferentes ciclos vegetativos competiram com a *Echinochloa* spp. (GALON et al., 2007), ou quando o manejo de irrigação da cultura, em competição com a planta daninha, foi diferenciado (AGOSTINETTO et al., 2007).

Considerando-se que perda de produtividade que determinada espécie daninha causa em uma cultura seja expressa quando se conhece, por exemplo, a população que está competindo com a cultura em um momento, é possível relacionar a perda estimada ao custo das opções de controle disponíveis para avaliar o lucro líquido da cultura. Esta estratégia define o nível de dano econômico (NDE). O NDE então é definido como a população de plantas daninhas no qual o custo de controle é igual ou maior ao valor da perda de produtividade caso nenhuma medida de controle seja tomada (COUSENS et al., 1987; BAUER; MORTENSEN, 1992; COBLE; MORTENSEN, 1992; LINDQUIST; KROPRFF, 1996). Assim, se for possível prever a perda de produtividade que a espécie daninha causa à cultura, será possível determinar se é viável ou não a adoção de medidas de controle (ADATI et al., 2006).

Para determinar o NDE é necessário utilizar variáveis como: preço pago pela cultura, custo de controle, produtividade e eficiência do controle exercido pelo

herbicida, para determinar se é economicamente viável ou não a adoção de medida de controle. Portanto, é fundamental entender que qualquer aumento no custo do herbicida utilizado para o controle e/ou do custo da aplicação, aumenta o NDE da planta daninha sobre a cultura. Ao contrário, quaisquer aumentos no valor do produto colhido, da produtividade da cultura, da eficiência de controle do herbicida e da perda da cultura por unidade da planta daninha, diminuirão os NDE (COBLE; MORTENSEN, 1992; AGOSTINETTO et al., 2005; GALON et al., 2007).

É igualmente importante perceber que, para a maioria dos produtores, a aversão ao risco é mais importante do que a maximização do lucro e, provavelmente, decisões de controle sejam tomadas mesmo abaixo do NDE. No entanto, mesmo produtores que utilizam NDE abaixo dos níveis verdadeiros estipulam um nível inicial para ação (COBLE; MORTENSEN, 1992).

A tomada de decisão de adoção de medida de controle das plantas daninhas, com base no conceito de NDE, embora demonstre ser economicamente viável e ambientalmente correta, sofre algumas limitações em função da dificuldade na predição precisa das perdas de produtividade da cultura e pela ausência de métodos simples e confiáveis para quantificar essas perdas a partir de observações iniciais da infestação (LUTMAN et al., 1996; AGOSTINETTO et al., 2005). Em decorrência, sua utilização deve ser realizada com base científica e cautela.

Existem diversos estudos na literatura relatando os NDE de plantas daninhas em culturas de interesse econômico. Os NDE de *Lolium multiflorum* e *Avena sterilis* variaram de 25 a 35 e 7 a 12 plantas daninhas  $m^{-2}$ , respectivamente, na cultura do trigo (ZANIN et al., 1993). Os NDE de *Sida rhombifolia* na cultura da soja variaram de 2 a 50 plantas  $m^{-2}$  em dois anos distintos em função de diferentes épocas de semeadura da cultura após a dessecação (FLECK et al., 2002). Ainda para soja, valores de NDE de *Bidens* spp. foram determinados entre 4 e 33 plantas  $m^{-2}$  também em função de diferentes épocas de semeadura da cultura após a dessecação (RIZZARDI et al., 2003b). Na Índia, o NDE de *Trianthema portulacastrum* foi de 4 plantas  $m^{-2}$  na cultura da soja, considerando uma eficiência de 90% de controle promovida pelo herbicida lactofen (HAZRA et al., 2011).

Em arroz irrigado, foram realizados estudos para a determinar do NDE de diferentes espécies daninhas que são relevantes competidoras na cultura. O arroz-vermelho, por exemplo, indicou NDE variando de 0,3 a 6 plantas  $m^{-2}$ , em função da época de sua emergência relativa na cultura e, NDE variáveis de 6 a 38 plantas  $m^{-2}$

em função de diferentes ciclos vegetativos das cultivares e diferentes espaçamentos de semeadura da cultura (AGOSTINETTO et al., 2005).

Em estudo que comparou a habilidade competitiva de cultivares de arroz de diferentes ciclos vegetativos, os NDE de capim-arroz na cultura variaram de 0,21 a 3,1 plantas de capim-arroz m<sup>-2</sup> (GALON et al., 2007). Em outro estudo, os NDE de capim-arroz variaram de 0,55 a 1,72 plantas m<sup>-2</sup>, quando a irrigação foi antecipada do vigésimo para o primeiro dia após o tratamento herbicida (GALON, 2007). Ainda, para capim-arroz, métodos culturais, como o espaçamento entrelinhas e o sistema de semeadura, mostraram que podem influenciar os NDE da planta daninha na cultura (AGOSTINETTO et al., 2010).

Embora os resultados sejam abundantes na literatura, na prática, por alguns motivos o NDE é subutilizado no manejo de plantas daninhas. Dentre eles destacam-se: ocorrência natural de populações poliespecíficas de plantas daninhas nas áreas agrícolas, falta de estabilidade das variáveis biológicas e econômicas utilizadas na sua estimativa, irrelevância do parâmetro obtido para culturas com baixa habilidade competitiva e consequências ecológicas de médio e longo prazo advindas do seu uso para o agroecossistema (KALSING; VIDAL, 2010). Mesmo assim, o NDE constitui-se na principal ferramenta do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD).

As hipóteses gerais da pesquisa foram: a cultura do arroz possui valor adaptativo e habilidade competitiva superiores à espécie *C. esculentus* (Capítulo I); cultivar de arroz com ciclo curto possui maior habilidade competitiva do que essa ciperácea quando comparada com cultivar de ciclo médio e, a antecipação da irrigação na cultura incrementa sua habilidade em relação à *C. esculentus* (Capítulo II); e, ciclo curto da cultivar de arroz e a antecipação da irrigação promovem aumentos nos NDE de *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado (Capítulo III).

Os objetivos gerais dessa pesquisa foram: estudar o valor adaptativo e a habilidade competitiva de *C. esculentus* em arroz irrigado (Capítulo I); testar modelos matemáticos e identificar variáveis explicativas que promovam maior ajuste dos dados ao modelo matemático (Capítulo II); e, quantificar os NDE de *C. esculentus* para que esse valor possa ser utilizado como suporte na recomendação de seu controle na cultura (Capítulo III).

## **2 CAPÍTULO I – Valor adaptativo e habilidade competitiva de *Cyperus esculentus* e arroz irrigado**

### **2.1 Introdução**

O arroz, depois do milho, é o cereal mais cultivado no mundo. No Brasil, a Região Sul é a maior produtora (72%) e o Estado do Rio Grande do Sul (RS) o que possui maior área semeada com a cultura (40%), com produtividade 58% superior à produtividade média nacional do grão (CONAB, 2011).

A produtividade média da lavoura arrozeira aumentou nas últimas dez safras (IRGA, 2011b), porém, ela ainda está aquém do máximo potencial produtivo da cultura. Isso porque a lavoura arrozeira está sujeita a uma série de fatores do ambiente que influenciam a produtividade, qualidade e custo de produção; dentre eles, o controle insatisfatório das plantas daninhas (FLECK et al., 2008). Assim, essas espécies assumem lugar de destaque negativo no crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos da cultura. As perdas de produtividade variam de acordo com a espécie e população da planta daninha, a cultivar de arroz e as práticas de manejo adotadas (GALON et al., 2007).

As espécies pertencentes ao gênero *Cyperus* destacam-se entre as principais infestantes em lavouras arrozeiras, sendo responsáveis por perdas de produtividade da cultura. Dentre as ciperáceas, *Cyperus esculentus* (tiririca-amarela) adapta-se bem às várzeas úmidas. Sua propagação ocorre por sementes e tubérculos, o que dificulta o controle. Além da competição direta, a espécie afeta culturas pela liberação de metabólitos alelopáticos que podem suprimir o desenvolvimento da cultura (DROST; DOLL, 1980; KISSMANN, 2007; BUZSÁKI et al., 2008).

A competição pelos recursos do meio, imposto pelas plantas daninhas às culturas inclui-se entre os fatores que mais causam decréscimo de produtividade.

Nas lavouras, a competição ocorre quando um ou mais recursos necessários ao seu desenvolvimento e crescimento encontram-se em quantidade limitada para atender às necessidades de todos os indivíduos presentes no meio (RADOSEVICH et al., 2007).

Dentre os fatores que podem alterar a competição entre as espécies, destacam-se a velocidade de estabelecimento e a taxa de crescimento das plantas em competição. O rápido estabelecimento das cultivares de arroz, por exemplo, depende da velocidade de crescimento em estatura e dos acúmulos de massa área e área foliar pelas plântulas nos primeiros 15 dias após a semeadura (FLECK et al., 2003a).

A taxa de crescimento também é importante variável na predição de situações de competição entre plantas. Em análise teórica, estimou-se que o aumento de 50% na taxa de crescimento radial dobrou a habilidade competitiva de uma planta (FISCHER; MILES, 1973). Dessa forma, experimentos de valor adaptativo são capazes de informar o comportamento das espécies no nicho ecológico ao longo do tempo e, assim, fornecer conhecimento sobre a habilidade competitiva dos indivíduos em estudo.

Para medir a competitividade das culturas com as plantas daninhas são utilizados diversos tipos de experimentos, destacando-se aqueles em série de substituição, os quais possibilitam o estudo da competição intra e interespecífica. A premissa desse tipo de experimento é que as produtividades das associações de espécies possam ser determinadas em comparação às dos respectivos monocultivos, visando indicar quais dos biótipos ou espécies, é mais competitivo (COUSENS, 1991; LAMEGO et al., 2011).

Compreender a habilidade competitiva entre as espécies pela utilização de variáveis explicativas é importante ferramenta de auxílio no manejo de plantas daninhas para reduzir os prejuízos por essas causados. Assim, estudos de crescimento frequentemente são utilizados para analisar as características dos biótipos e espécies com a finalidade de detectar possíveis diferenças funcionais e estruturais entre esses. Os indivíduos mais adaptados geralmente são mais competitivos e capazes de aumentar sua proporção relativa ao longo do tempo, eliminando os menos aptos a ocupar determinado nicho ecológico (CHRISTOFFOLETI et al., 1997).

Diante do exposto, as hipóteses do trabalho são que as cultivares de arroz possuem maior valor adaptativo no nicho ecológico, ao longo do tempo, do que o biótipo de *C. esculentus* e que a competição intraespecífica é mais importante para as cultivares de arroz do que a competição interespecífica com *C. esculentus*.

Assim, o estudo teve por objetivos investigar e comparar o valor adaptativo e a habilidade competitiva de *C. esculentus* com a cultura do arroz irrigado, através de experimentos de valor adaptativo e de série de substituição.

## 2.2 Material e métodos

Com o objetivo de avaliar a habilidade competitiva de *C. esculentus* e de duas cultivares de arroz irrigado, foram conduzidos dois estudos em casa de vegetação pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel), no Município de Capão do Leão/RS. O primeiro estudo visou determinar o valor adaptativo comparando o biótipo de *C. esculentus* e as cultivares de arroz BRS Querência e IRGA 424, para determinar o comportamento das espécies no nicho ecológico, ao longo do tempo. O segundo estudo visou estudar a habilidade competitiva de biótipo de *C. esculentus* e da cultivar de arroz irrigado BRS Querência em teste de série de substituição.

Para verificar o valor adaptativo entre *C. esculentus* e a cultura do arroz irrigado (estudo 1) conduziu-se experimento no período de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011. Foi utilizado delineamento experimental completamente casualizado com quatro repetições. As unidades experimentais utilizadas foram vasos com capacidade de 8L e diâmetro de 23cm, preenchidos com solo peneirado, classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2009). A correção da fertilidade do solo foi realizada com base na análise do solo, conforme as recomendações para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2010).

Os tratamentos constaram de biótipo de *C. esculentus* e duas cultivares de arroz irrigado: BRS Querência (ciclo precoce) e IRGA 424 (ciclo médio); e, cinco épocas de amostragem (20, 30, 40, 50 e 60 dias após a emergência (DAE)). Nas unidades experimentais foram semeadas cinco sementes de cada cultivar pertencente ao estudo. Aos sete DAE as plântulas de arroz foram desbastadas, deixando-se somente uma planta de arroz por unidade experimental. Em separado,

solo infestado com a planta daninha, coletado no mês de novembro de 2010, foi colocado em bandejas plásticas para que houvesse a emergência das plântulas. Aos sete DAE, as plântulas da infestante que se encontravam com similar número de folhas que as cultivares de arroz, foram transplantadas para as unidades experimentais. O solo das unidades experimentais foi irrigado sempre que necessário até a irrigação definitiva, a qual foi realizada aos oito DAE.

As variáveis analisadas, em cada época, foram: estatura de planta (EST), área foliar (AF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) e das raízes (MSR). A EST das plantas foi medida, com o auxílio de régua milimetrada, abrangendo a distância entre o solo e o ápice da folha apical. Após o corte das plantas, ao nível do solo, procedeu-se a separação das folhas para avaliar a AF, com auxílio de medidor de área foliar (modelo LI 3100C). Para quantificar MSR, as raízes foram lavadas em água corrente para eliminar o solo aderido, sendo a seguir colocadas em estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, até atingir massa constante, quando foram pesadas.

Os resultados de massa seca total ( $MST = MSPA + MSR$ ) e AF foram utilizados para se determinar a taxa de crescimento (TC) e a razão de área foliar (RAF). A TC ( $\text{g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) expressa a velocidade média de crescimento das plantas ao longo do período de observação, sendo calculada pela equação:

$$TC = (MST_2 - MST_1) / (t_2 - t_1) \quad \text{equação (1)}$$

onde:  $MST_2$  e  $MST_1$  são as MST de duas amostragens sucessivas e  $t_2$  e  $t_1$  é o tempo transcorrido (dias) entre as duas observações. A RAF ( $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) expressa a área útil disponível para a fotossíntese, sendo calculada pela equação:

$$RAF = AF/MST \quad \text{equação (2)}$$

Os dados obtidos foram então analisados quanto à normalidade e homocedasticidade e, posteriormente submetidos, à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) pelo programa SAS (SAS, 1989). No caso de ser constatada significância estatística, as médias para o fator espécies foram comparadas pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ) e aplicada a análise de regressão para o fator épocas de amostragem utilizando o SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2007).

Para verificar a habilidade competitiva entre *C. esculentus* e arroz irrigado (estudo 2), conduziram-se dois experimentos. O primeiro experimento, com monocultivos de *C. esculentus* e arroz cultivar BRS Querência objetivou determinar a população de plantas a partir da qual a massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), em gramas (g) por unidade de área ( $m^{-2}$ ), torna-se independente da população, de acordo com a lei de produção final constante (RADOSEVICH et al., 2007). O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. As populações estudadas foram 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 plantas vaso<sup>-1</sup> (equivalentes a 28, 58, 115, 231, 462, 923 e 1847 plantas  $m^{-2}$ ). As plântulas do biótipo de *C. esculentus* foram transplantadas de modo semelhante ao descrito no estudo 1. Cada unidade experimental foi composta por vaso com capacidade de 8L e diâmetro de 23cm, preenchidos com solo peneirado. O solo das unidades experimentais foi irrigado sempre que necessário até a irrigação definitiva.

A parte aérea das plantas foi coletada aos 42 DAE para determinar a MMSPA. A variável foi quantificada de modo similar ao descrito no primeiro estudo desse capítulo. Para análise dos dados, foi utilizada a produção recíproca para determinar a população de plantas onde a MMSPA torna-se constante. A população em que MMSPA tornou-se independente da população de plantas foi, considerando a média entre a cultivar de arroz e a infestante, 978 plantas  $m^{-2}$  (dados não apresentados).

O segundo experimento foi conduzido em série de substituição com população de 32 plantas por unidade experimental (baldes de 8L e diâmetro de 23 cm), determinada no experimento anterior. O delineamento experimental utilizado foi completamente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de proporções do biótipo de *C. esculentus* e da cultivar de arroz irrigado BRS Querência. As proporções testadas foram: 100/0 (estande puro da cultivar BRS Querência), 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100% (estande puro do biótipo de *C. esculentus*). A semeadura da cultivar e o transplante da planta daninha foram realizados em populações superiores às populações desejadas em cada tratamento, procedendo-se desbaste aos sete DAE para retirada das plantas excedentes. O solo das unidades experimentais foi irrigado sempre que necessário até a irrigação definitiva no dia 17/12/2010 (sete DAE).

As variáveis avaliadas aos 42 DAE foram: área foliar (AF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA). A AF foi determinada com auxílio de medidor

de área foliar, enquanto a MMSPA foi quantificada de modo idêntico ao descrito no primeiro experimento desse estudo.

Para analisar os dados das variáveis AF e MMSPA do competidor (*C. esculentus*) e da cultivar de arroz BRS Querência, utilizou-se o método da análise gráfica da produtividade relativa (RADOSEVICH, 1987; ROUSH et al., 1989; COUSENS, 1991; BIANCHI et al., 2006). O referido procedimento, também conhecido como método convencional para experimentos substitutivos, consiste na construção de diagrama, tendo por base as produtividades ou variações relativas (PR) e total (PRT). Quando o resultado da PR tender a uma linha reta, significa que as habilidades das espécies são equivalentes. Caso a PR resultar em linha côncava, indica que existe prejuízo no crescimento de uma ou de ambas as espécies. Ao contrário, se a PR mostrar linha convexa, há benefício no crescimento de uma ou de ambas as espécies. Quando a PRT for igual à unidade (1) (linha reta), ocorre competição pelos mesmos recursos; se ela for superior a 1 (linha convexa), não ocorre competição. Caso a PRT seja menor que 1 (linha côncava), ocorre prejuízo mútuo ao crescimento (COUSENS, 1991; RADOSEVICH et al., 2007).

Foram calculados os índices de competitividade relativa (CR) e os coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). A CR representa o crescimento comparativo da espécie X em relação à Y; K indica a dominância relativa de uma espécie sobre a outra; e C aponta qual das espécies é mais competitiva. Assim, os índices CR, K e C indicam qual espécie se manifesta mais competitiva, e sua interpretação conjunta indica com maior segurança a competitividade das espécies (COUSENS, 1991). A espécie X é mais competitiva que Y quando  $CR > 1$ ,  $K_x > K_y$  e  $C > 0$ ; por outro lado, a espécie Y é mais competitiva que X quando  $CR < 1$ ,  $K_x < K_y$  e  $C < 0$  (HOFFMAN; BUHLER, 2002). Para calcular esses índices foram usadas as proporções de plantas de 50/50 das espécies, utilizando-se as seguintes equações:  $CR = PR_x/PR_y$ ;  $K_x = PR_x/(1-PR_x)$ ;  $K_y = PR_y/(1-PR_y)$ ;  $C = PR_x - PR_y$  (COUSENS; O'NEILL, 1993).

O procedimento de análise estatística da produtividade ou da variação relativa incluiu o cálculo das diferenças para os valores de PR (DPR), obtidas nas proporções de plantas 25, 50 e 75%, em relação aos valores pertencentes à reta hipotética nas respectivas proporções, quais sejam: 0,25; 0,50; e 0,75 para PR (PASSINI, 2001; BIANCHI et al., 2006). Utilizou-se o teste "t" para testar as diferenças relativas aos índices DPR, PRT, CR, K e C (ROUSH et al, 1989;

HOFFMAN; BUHLER, 2002). Considerou-se como hipótese nula, para testar as diferenças de DPR e C, que as médias fossem iguais à zero ( $H_0 = 0$ ); para PRT e CR, que as médias fossem iguais a um ( $H_0 = 1$ ); e, para K, que as médias das diferenças entre  $K_x$  e  $K_y$  fossem iguais a zero [ $H_0 = (K_x - K_y) = 0$ ]. O critério para considerar as curvas de PR e PRT diferentes das retas hipotéticas foi que, no mínimo em duas proporções, ocorressem diferenças significativas pelo teste "t" (BIANCHI et al., 2006). Do mesmo modo, considerou-se, para os índices CR, K e C, a existência de diferenças em competitividade quando, no mínimo em dois deles, houvesse diferença significativa pelo teste "t".

Os resultados obtidos para MMSPA e AF, expressos em valores médios por tratamento, foram submetidos à análise de variância pelo teste F; em sendo significativo, compararam-se as médias dos tratamentos pelo teste de Dunnett, considerando-se as respectivas monoculturas como testemunhas nessas comparações. Em todas as análises estatísticas efetuadas, com a utilização do programa computacional SAS, adotou-se a probabilidade de erro de 5% (SAS, 1989).

### 2.3 Resultados e discussão

Para o estudo de valor adaptativo entre *C. esculentus* e a cultura do arroz irrigado (estudo 1), o teste de normalidade demonstrou não ser necessária a transformação dos dados. Houve interação dos fatores de tratamento para as variáveis EST, AF, MSPA e RAF (Figuras 1, 2, 3 e 7, respectivamente). Para as variáveis MSR, MST e TC, somente houve efeito para o fator épocas de amostragem (Figuras 4, 5 e 6, respectivamente).

O modelo de regressão exponencial demonstrou satisfatório ajuste aos dados da variável EST, apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,98, tanto para o biótipo de *C. esculentus* quanto para as duas cultivares de arroz. Para essa variável, observou-se incremento ao longo das épocas de amostragem, tanto para *C. esculentus* quanto para as cultivares de arroz. Esse resultado era esperado, uma vez que, com o desenvolvimento das espécies, no decorrer do tempo, há aumento do valor da variável pelo crescimento das plantas. Considerando o valor do expoente da equação, verificou-se que a cultivar BRS Querência apresentou maior incremento em estatura ao longo do período de avaliação (Figura 1).

Ainda em relação à variável EST, as cultivares de arroz e o biótipo de *C. esculentus* tiveram igual comportamento até os 30 DAE, sem diferenças entre as espécies aos 20 DAE. Porém, a partir dos 30 DAE, houve diferença entre as cultivares de arroz. De forma geral, em todas as épocas de amostragem, a planta daninha não diferiu da cultivar BRS Querência, exceto aos 50 DAE, e superou a cultivar IRGA 424 a partir dos 40 DAE. Esse resultado sugere que *C. esculentus* tem vantagem competitiva em relação a cultivar IRGA 424, mas não se diferencia da cultivar BRS Querência. Tal comportamento pode decorrer da cultivar IRGA 424 possuir menor estatura, o que a desfavorece na interceptação da radiação solar, principal recurso de competição entre arroz e plantas daninhas (FLECK et al., 2003a). Cabe ressaltar que a diferença de estatura observada entre as cultivares de arroz irrigado era esperada, pois, a menor estatura é característica da cultivar IRGA 424 em comparação à BRS Querência (SOSBAI, 2010) (Figura 1).

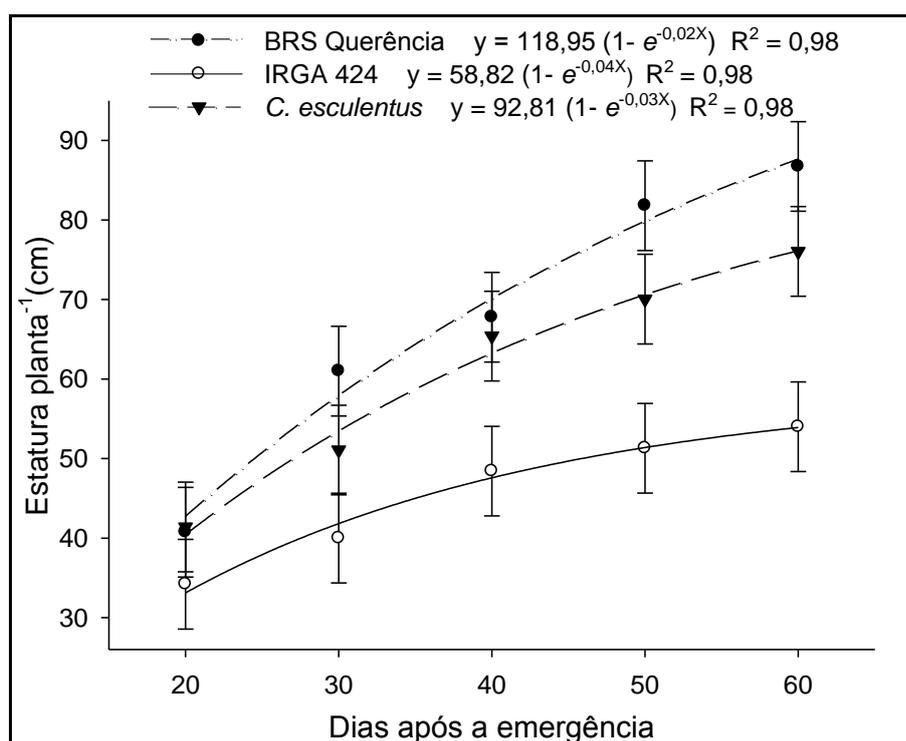


Figura 1 - Estaturas de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições de cada espécie e as barras os respectivos intervalos de confiança de cada espécie.

Para que haja sombreamento das plantas daninhas pelas culturas, é necessário, além da cobertura do solo, estatura de planta superior, o que possibilita maior captação de energia luminosa no estrato superior do dossel (FLECK et al.,

2003a). Assim, plantas cujas características imponham menor habilidade na captação de luz (como por exemplo, menor estatura) possuem desvantagem competitiva pela luz.

Em competição com arroz-vermelho (*Oryza sativa*) e a cultivar de arroz EEA 406 (simuladora do competidor arroz-vermelho), a cultivar IRGA 417 teve a estatura afetada negativamente pela competição (FLECK et al., 2008). A estatura da cultivar EEA 406, em competição com o arroz-vermelho, também teve a estatura reduzida (FLECK et al., 2008). A estatura é importante característica morfológica das plantas no que se refere à competição entre as espécies (RADOSEVICH et al., 2007; FLECK et al., 2008). Para a cultivar IRGA 424, a estatura inferior à da planta daninha lhe impõe menor potencial competitivo (Figura 1), principalmente na captação de luz. Assim, para o aproveitamento do potencial produtivo dessa cultivar, o controle da planta daninha deve ser realizado precocemente.

Para a variável AF, houve crescimento linear, tanto do biótipo de *C. esculentus*, quanto das cultivares de arroz, sendo que os coeficientes de determinação variaram entre 0,94 e 0,97 (Figura 2).

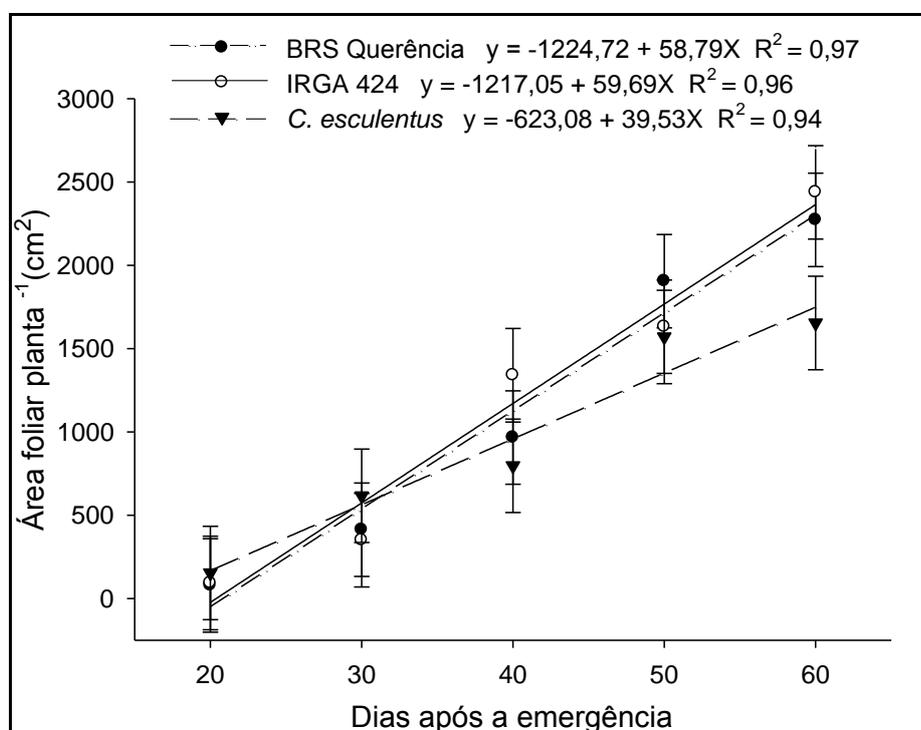


Figura 2 - Áreas foliares de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições de cada espécie e as barras os respectivos intervalos de confiança de cada espécie.

Não houve diferença entre as cultivares em nenhuma época de amostragem e ambas superaram a planta daninha somente aos 60 DAE. Comparando-se as inclinações das retas, verificou-se que as cultivares de arroz apresentaram maior produção de AF, comparativamente à planta daninha (em média 50% superior). Em estudo realizado com biótipos resistente e suscetível de leiteira (*Euphorbia heterophylla*), verificou-se crescimento inicial menos pronunciado da AF até os 20 DAE, seguindo-se então, uma fase de crescimento mais acentuado (dos 20 aos 50 DAE), com posterior estabilização (70 DAE), possivelmente devido à perda de folhas no processo de senescência (NOHATTO, 2010). Entre biótipos resistente e suscetível de capim-arroz em competição, não ocorreu diferença para a variável AF em nenhuma das datas de amostragem (FERREIRA et al., 2008).

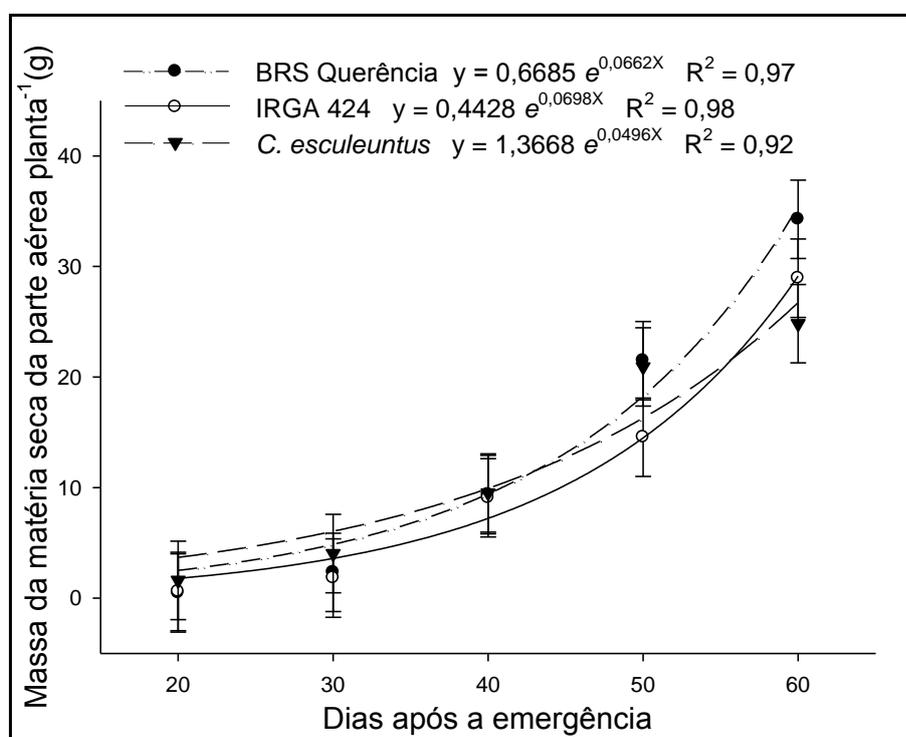


Figura 3 – Massa da matéria seca da parte aéreas de biótipo de *Cyperus esculentus* e cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliadas dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições de cada espécie e as barras os respectivos intervalos de confiança de cada espécie.

O modelo exponencial também demonstrou satisfatório ajuste dos dados da variável MMSPA, com coeficientes de determinação variáveis entre 0,92 e 0,98. A partir dos 40 DAE, as espécies experimentaram maior velocidade de acúmulo da MSPA, mas somente aos 60 DAE houve diferença entre a cultivar BRS Querência e *C. esculentus*, com vantagem da primeira (Figura 3).

O acúmulo e a alocação de massa são importantes características no entendimento da habilidade competitiva entre plantas (DOMINGOS et al., 2005; RADOSEVICH et al., 2007). Indivíduos com maior acúmulo de fitomassa demonstram habilidade superior quando em competição (CARVALHO et al., 2005). Para a planta daninha *Digitaria insularis* ocorre lento acúmulo de massa seca até os 45 DAE, mostrando que culturas em competição que possuem lento crescimento e consequente falta de domínio do nicho podem ter habilidade competitiva inferior, comparativamente às plantas daninhas (MACHADO et al., 2006).

Para as variáveis MSR, MST e TC (Figuras 4, 5 e 6), não houve interação entre espécie e as épocas de amostragem, sendo o comportamento do modelo representado pela média das espécies em estudo. Para essas variáveis, houve ajuste do modelo exponencial, sendo que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variam entre 0,95 e 0,99.

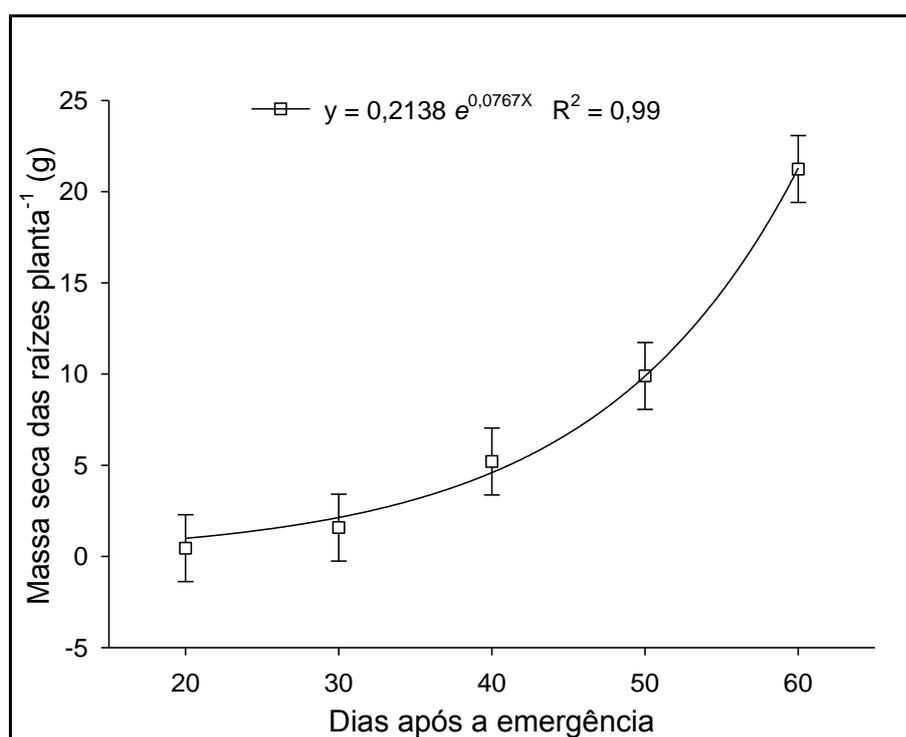


Figura 4 - Massa seca das raízes (MSR) média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições entre as espécies e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Para essas variáveis (MSR, MST e TC), observou-se de maneira geral, crescimento lento até os 40 DAE, sendo mais pronunciado após essa época de avaliação (Figuras 4, 5 e 6). De maneira semelhante, o crescimento do sistema

radical de *Digitaria insularis* foi lento até os 45 DAE, enquanto no período posterior (até os 105 DAE) ele foi acelerando pela formação de rizomas, propiciando à planta daninha nesse período de desenvolvimento grande capacidade de apropriação dos recursos do solo (MACHADO et al., 2006). De forma semelhante, biótipos de leiteira com maior e menor tolerância ao glyphosate também mostraram crescimento de raízes acentuado entre 35 e 50 DAE (NOHATTO, 2010).

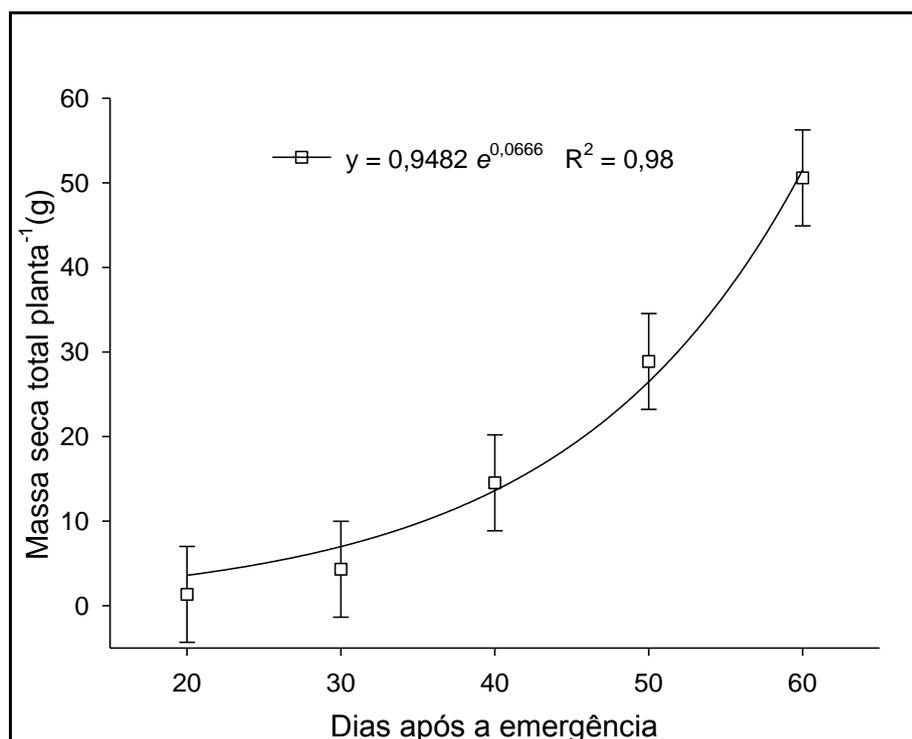


Figura 5 - Massa seca total média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições entre as espécies e as barras os respectivos intervalos de confiança da média.

A TC expressa o acúmulo de massa em determinado intervalo de tempo, em comparação a massa pré-existente. Cultivares de arroz Bluebelle e Formosa apresentaram elevadas taxas de crescimento, quando comparados com a cultivar IR 841; porém, elas demonstraram características indicativas de baixo potencial competitivo com plantas daninhas (FLECK et al., 2003a).

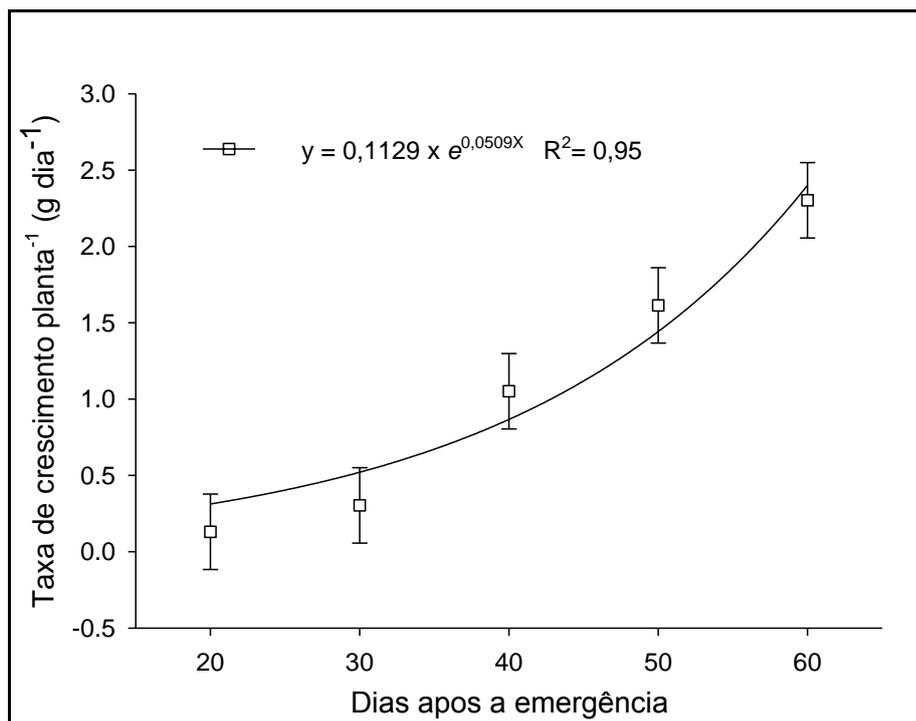


Figura 6 - Taxa de crescimento média de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições entre as espécies e as barras os respectivos intervalos de confiança da média.

Para a variável RAF, houve interação dos fatores de tratamento espécies e datas de amostragem; porém, não houve ajuste satisfatório dos dados a nenhum modelo que explicasse biologicamente seu comportamento. De forma geral, houve superioridade da cultivar de arroz IRGA 424 sobre o biótipo da planta daninha e essa não diferiu da cultivar BRS Querência (Figura 7).

Como a RAF relaciona AF e MST, quanto maior for a RAF, maior é a AF da espécie e, conseqüentemente, maior é sua área fotossintética, fornecendo a espécie com maior RAF, elevada capacidade de captação de luz. A elevada RAF observada na cultivar de arroz IR 841, evidencia que plantas com elevada área foliar por unidade de massa possuem superioridade fotossintética sobre seus competidores (FLECK et al., 2003a).

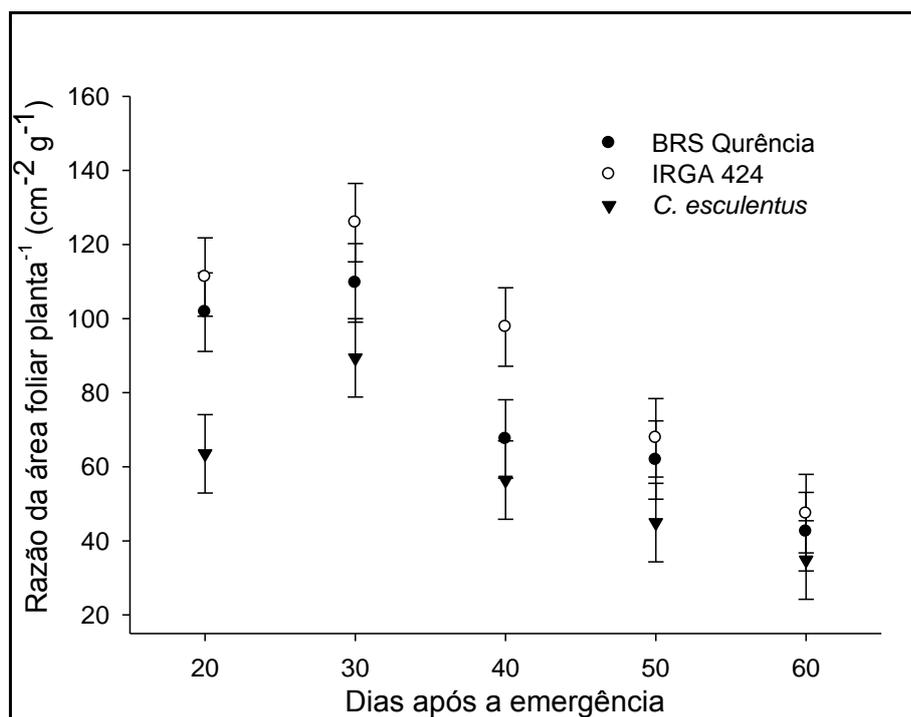


Figura 7 - Razão da área foliar de biótipo de *Cyperus esculentus* e de cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), avaliada dos 20 aos 60 dias após emergência. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Os pontos representam os valores médios das repetições de cada espécie e as barras os respectivos intervalos de confiança de cada espécie.

Para o estudo da habilidade competitiva entre *C. esculentus* e arroz irrigado, em série de substituição (estudo 2), o teste de normalidade demonstrou não ser necessário transformar os dados. A análise gráfica dos resultados obtidos para PR, referente às variáveis MSPA e AF, demonstrou que o arroz foi mais competitivo que o biótipo de *C. esculentus*, pois a PR do arroz foi representada por linha côncava e a de *C. esculentus* por linha convexa (Figura 8).

A competição entre as duas espécies ocorreu pelo(s) mesmo(s) recurso(s) do meio, sendo esse(s) utilizado(s) mais eficientemente pelo arroz. Considerando que para haver diferença entre as retas hipotéticas, deve haver significância, no mínimo, em duas proporções de plantas, verificou-se que os desvios de PR da cultura e da planta daninha, para a variável MMSPA, foram significativos nas proporções 50/50 e 25/75 (Tabela 1), corroborando a interpretação gráfica visual e demonstrando que houve benefício para a cultura e prejuízo para a planta daninha.

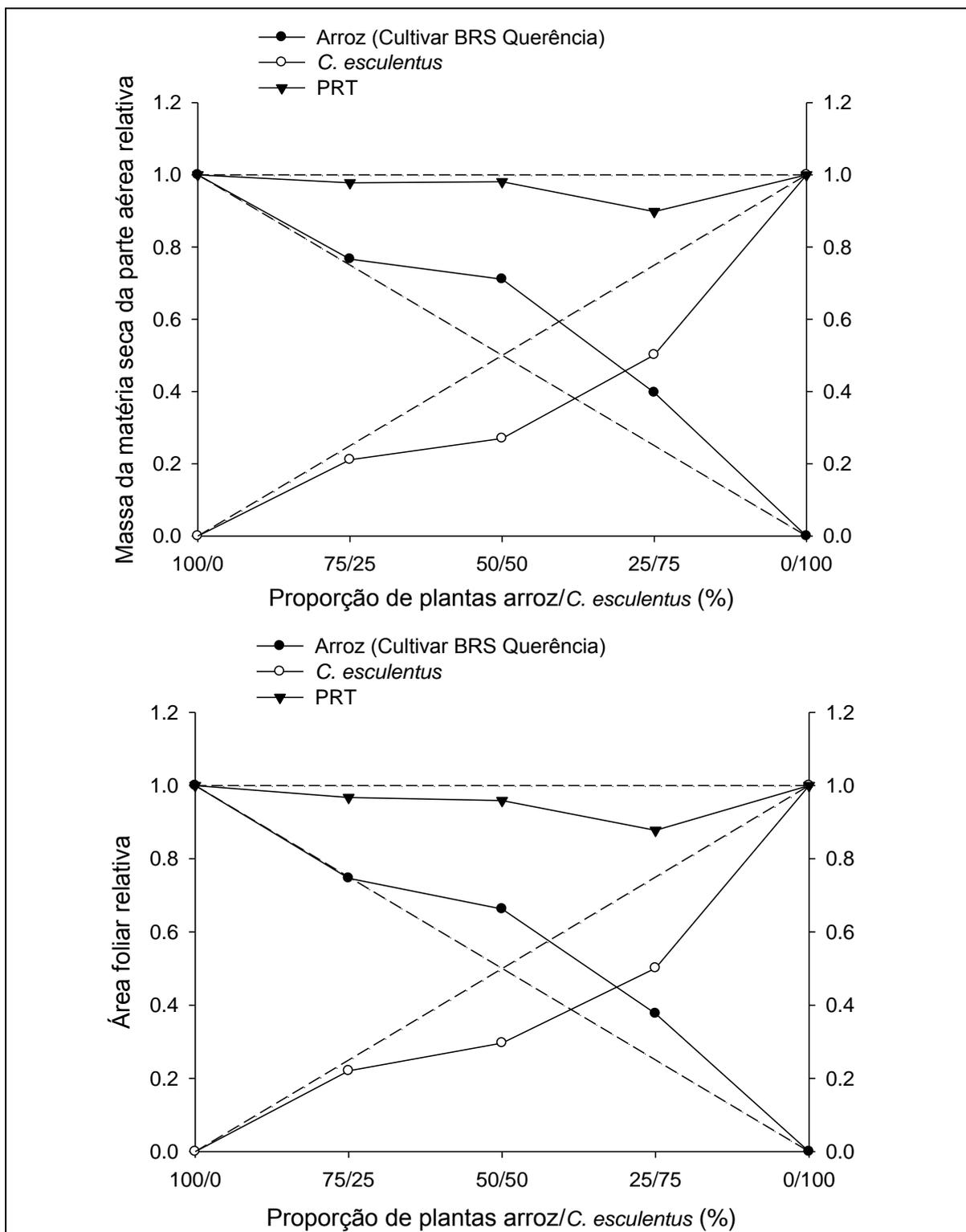


Figura 8 - Produtividades relativa (PR) e total (PRT) área foliar (AF) e da massa da matéria seca da parte aérea da cultivar de arroz BRS Querência e de biótipo de *Cyperus esculentus*, em função da proporção de plantas. FAEM/UFPel, Capão do Leão/RS, 2010/11. Círculos cheios (●) e vazios (○) representam a PR da AF e MSPA do arroz e de *C. esculentus*, respectivamente, e (▼) indica a PRT. As linhas tracejadas referem-se às produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

Para a variável AF, somente houve diminuição na PR da planta daninha nas proporções 50/50 e 25/75 (Tabela 1). Em relação à PRT, não houve diferença entre o esperado e o observado para nenhuma das variáveis estudadas, embora, numérica e graficamente, percebeu-se que na menor proporção de arroz, para ambas às variáveis, ocorreu antagonismo na associação (Figura 8, Tabela 1).

Os resultados demonstram que, para a cultura do arroz, a competição intraespecífica foi mais importante do que a interespecífica, fato comprovado pelo aumento da PR da cultura nas duas maiores proporções da planta daninha (50/50 e 25/75) (Figura 8, Tabela 1). Ao contrário, para a planta daninha a competição interespecífica demonstrou ser mais importante, uma vez que ocorreu diminuição da PR nessas mesmas proporções. De modo semelhante, estudos de competição com biótipos de *Cyperus difformis* (DAL MAGRO et al., 2011) e com *Fimbristylis miliacea* (SCHAEDLER, 2011), indicou através das variáveis MMSPA e AF, ser o arroz mais competitivo do que as concorrentes.

Tabela 1. Diferenças relativas para as variáveis massa da matéria seca da parte aérea e área foliar da cultivar de arroz BRS Querência e de biótipo de *Cyperus esculentus*. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2010/11

Variável	Proporção de plantas associadas (arroz: <i>C. esculentus</i> )		
	75:25	50:50	25:75
Massa seca da parte aérea			
Arroz	0,15 ( $\pm 0,07$ )	0,21 ( $\pm 0,02$ )*	0,02 ( $\pm 0,01$ )*
<i>C. esculentus</i>	-0,04 ( $\pm 0,04$ )	-0,23 ( $\pm 0,02$ )*	-0,25 ( $\pm 0,06$ )*
Total	0,98 ( $\pm 0,04$ )	0,98 ( $\pm 0,01$ )	0,90 ( $\pm 0,01$ )*
Área foliar			
Arroz	-0,003 ( $\pm 0,03$ )	0,16 ( $\pm 0,05$ )*	0,13 ( $\pm 0,05$ )
<i>C. esculentus</i>	-0,03 ( $\pm 0,03$ )	-0,20 ( $\pm 0,02$ )*	-0,25 ( $\pm 0,04$ )*
Total	0,97 ( $\pm 0,03$ )	0,96 ( $\pm 0,04$ )	0,88 ( $\pm 0,03$ )*

\* Diferença significativa pelo teste "t" ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses representam erros-padrão das médias.

Ao contrário, em estudo que avaliou a competição de arroz com arroz-vermelho, demonstrou através da variável AF, diminuição da PR na maior e na menor proporção de plantas (FLECK et al., 2008). Já, para MMSPA, os autores

constatarem diminuição da PR para a cultura em todas as proporções de plantas e aumento na PRT, decorrente do aumento da PR do arroz-vermelho.

Assumindo que o arroz seja mais competitivo que *C. esculentus* quando  $CR > 1$ ,  $K_x > K_y$  e  $C > 0$  (HOFFMAN; BUHLER, 2002) e adotando-se tal critério para comprovar sua superioridade competitiva, e ocorrência de diferenças significativas em pelo menos dois desses índices (BIANCHI et al., 2006), observou-se, para todas as variáveis avaliadas, que a cultura possui maior competitividade do que a planta daninha (Tabela 2), resultados que corroboraram os da análise gráfica. Índices semelhantes observaram-se quando o arroz competiu com biótipos de *Cyperus difformis* (DAL MAGRO et al., 2011) e *Fimbristylis miliacea* (SCHAEDLER, 2011). Ao contrário, o arroz foi menos competitivo que arroz-vermelho (FLECK et al., 2008) e capim-arroz (AGOSTINETTO et al., 2008), quando utilizadas as mesmas variáveis, e atendidos os referidos pressupostos da hierarquia de competição (HOFFMAN; BUHLER, 2002).

Tabela 2. Índices de competitividade entre a cultivar de arroz BRS Querência e biótipo de *Cyperus esculentus*, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2011

Variável	CR	$K_x$ (arroz)	$K_y$ ( <i>C. esculentus</i> )	C
	arroz X <i>C. esculentus</i>			
MMSPA	2,70 ( $\pm 0,30$ )*	2,53 ( $\pm 0,29$ )*	0,37 ( $\pm 0,04$ )	0,44 ( $\pm 0,04$ )*
AF	2,29 ( $\pm 0,28$ )*	2,20 ( $\pm 0,58$ )*	0,43 ( $\pm 0,05$ )	0,37 ( $\pm 0,06$ )*

\* Diferença significativa pelo teste "t" ( $p \leq 0,05$ ). Valores entre parênteses representam erros-padrão das médias.  $K_x$  e  $K_y$  são os coeficientes de agrupamentos relativos da cultivar de arroz e do competidor, respectivamente. MMSPA: massa da matéria seca da parte aérea. AF: área foliar.

O estudo demonstrou que, geralmente, a cultura é mais competitiva do que a espécie daninha, porque o efeito das infestantes não se deve somente a maior habilidade competitiva individual, mas, principalmente em condição de campo, à população total de plantas daninhas (VILÁ et al., 2004). Para arroz-vermelho, a semelhança morfofisiológica com o arroz cultivado e, principalmente a maior estatura, maximiza sua competição pela luz, com reflexo nas demais variáveis explicativas da cultura, tornam a planta daninha mais competitiva do que o arroz (AGOSTINETTO et al., 2001; FLECK et al., 2008). Para *C. esculentus* verificaram-se

resultados opostos, uma vez que sua menor estatura quando comparada à do arroz (Figura 1, estudo 1) poderá minimizar sua competitividade por luz.

Para as variáveis MMSPA e AF constataram-se as maiores médias para plantas do arroz quando a cultura se encontrava na menor proporção de plantas, confirmando a inferência de que, para o arroz, a competição intraespecífica foi mais expressiva do que a interespecífica (Tabela 3). Para a planta daninha, as maiores médias por planta ocorreram quando a planta daninha estava em equivalência de plantas (50/50) ou em menor proporção (75/25), para ambas as variáveis, indicando que a competição mais importante para essa espécie é a interespecífica, principalmente pela diminuição das variáveis quando comparado com o respectivo monocultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Diferenças entre plantas associadas ou não da cultivar de arroz BRS Querência com *Cyperus esculentus* para massa da matéria seca da parte aérea e área foliar. FAEM/UFPel, Capão do Leão, 2010/11

Proporção de plantas Arroz/ <i>C. esculentus</i>	Massa da matéria seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )		Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	
	Arroz	<i>C. esculentus</i>	Arroz	<i>C. esculentus</i>
100/0 (T)	0,77	-	86,53	-
75/25	0,79	0,78*	86,15	80,35
50/50	1,10	0,63*	114,67	53,99*
25/75	1,22*	0,98	130,39*	60,82*
0/100 (T)	-	1,16	-	91,02
CV(%)	21,96	22,53	20,65	21,23

\* Média difere da respectiva testemunha (T) pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ).

Resultados semelhantes a esses foram observados em estudo de competição de arroz (cultivar BRS Querência) com biótipos de *Cyperus difformis*. As variáveis AF e MMSPA da planta daninha sofreram diminuição em todas as proporções de plantas em competição, indicando que a competição intraespecífica, para cultura, foi a mais pronunciada (DAL MAGRO et al., 2011). A cultivar de arroz EPAGRI 109 mostrou, para as variáveis AF e MMSPA, maiores rendimentos por planta nas menores proporções de plantas em competição com biótipos de *Fimbristylis miliacea*, também indicando maior importância da competição intraespecífica para a cultura (SCHAEDLER, 2011).

Por outro lado, para a cultivar de arroz IRGA 417, em competição com arroz-vermelho, verificaram-se resultados opostos para AF na maior e na menor proporção de plantas da cultura, em relação à planta daninha e uma diminuição, em todas as proporções para a variável MSPA, indicando que, para aquela cultivar, a competição interespecífica é mais importante (FLECK et al., 2008). Da mesma forma, as cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410, foram afetadas pela competição com capim-arroz em todas as proporções de plantas em competição, para as referidas variáveis, indicando superioridade competitiva do capim-arroz frente a essas cultivares de arroz (AGOSTINETTO et al., 2008). Cabe ressaltar que ambos os competidores, arroz-vermelho e capim-arroz, pertencem à mesma família botânica e possuem características morfofisiológicas mais similares às do arroz cultivado, enquanto *Cyperus difformis*, *Fimbristylis miliacea* e *Cyperus esculentus*, pertencem à família Cyperaceae, diferindo morfofisiologicamente da cultura. Geralmente, as perdas de produtividade das culturas, em decorrência da competição de plantas daninhas, aumentam quanto mais semelhantes forem as características morfofisiológicas entre os competidores, por explorarem mais intensamente o mesmo nicho ecológico (LAMEGO et al., 2004).

## 2.4 Conclusões

De maneira geral, as cultivares de arroz irrigado (BRS Querência e IRGA 424), pertencentes ao estudo, demonstram valor adaptativo no ambiente equivalente ao biótipo de *Cyperus esculentus* estudado.

A cultivar de arroz BRS Querência, apresenta habilidade competitiva superior à do biótipo de *Cyperus esculentus*.

Para a cultura do arroz, o componente intraespecífico da competição predomina, enquanto para *Cyperus esculentus* o componente interespecífico é o mais importante.

### **3 CAPÍTULO II – Estimativa da perda de produtividade de grãos na cultura do arroz irrigado em função do ciclo de cultivares e de épocas de irrigação da cultura, quando em competição com *Cyperus esculentus***

#### **3.1 Introdução**

O arroz é cereal de grande importância na alimentação mundial, sendo necessárias cerca de 522 milhões de toneladas do grão para suprir a demanda anual mundial de mercado (FAO, 2007). Diversos são os agentes bióticos de interferência na produtividade da cultura. Dentre esses, plantas daninhas figuram como o principal problema fitossanitário, pois impedem a obtenção de melhores índices de produtividade da cultura do arroz (AGOSTINETTO et al., 2011).

A competição pelos recursos do meio, imposto pelas plantas daninhas às culturas, inclui-se entre os fatores que mais causam decréscimo de produtividade (FLECK et al., 2008), além de servir como hospedeiras de pragas e doenças, que podem atacar a própria cultura ou ainda, causar diminuição do valor comercial da área cultivada (ERASMO et al., 2003).

As espécies pertencentes ao gênero *Cyperus* destacam-se entre as principais infestantes da lavoura arrozeira, sendo responsáveis por perdas de produtividade da cultura (ERASMO et al., 2003; KISSMANN, 2007; SOSBAI, 2010). A espécie *Cyperus esculentus* é bem adaptada às várzeas úmidas, sendo sua propagação quase que exclusivamente vegetativa, dificultando seu controle e interferindo direta (KISSMANN, 2007) ou indiretamente na produção do arroz (DROST; DOLL, 1980; KISSMANN, 2007; BUZSÁKI et al., 2008).

As plantas daninhas assumem lugar de destaque negativo no crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura, sendo que as perdas ocasionadas variam de acordo com a espécie e população da planta daninha, cultivar de arroz e práticas de manejo adotadas (AGOSTINETTO et al., 2005; GALON et al., 2007).

Uma das formas de reduzir as perdas causadas por *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado inclui a utilização de cultivares com maior habilidade competitiva. Características como emergência e estabelecimento precoce, maior vigor de planta, aumento da taxa de expansão foliar, rápido desenvolvimento do dossel, maior estatura de planta, ciclo precoce e aumento no tamanho de raízes, têm demonstrado influência direta na capacidade competitiva das cultivares (BERKOWITZ, 1988; NI et al., 2000; TIRONI et al., 2009). Assim, a utilização de cultivares com maior habilidade competitiva pode reduzir a intensidade de competição das plantas daninhas (BALBINOT JR. et al., 2003; FLECK et al., 2004).

A duração do ciclo das cultivares pode também influenciar a habilidade competitiva da cultura. Cultivares de ciclo longo são geralmente mais competitivas, pois aproveitam mais habilmente a luz solar no final do ciclo; porém, as plantas daninhas podem senescer antecipadamente e abastecer o banco de sementes do solo (AGOSTINETTO et al., 2001; RADOSEVICH et al., 2007). Por outro lado, cultivares de ciclo curto podem ocupar mais rapidamente o nicho, em detrimento do desenvolvimento das plantas daninhas, competindo vantajosamente pelo fator luz (FLECK et al., 2003b), além de diminuir o reabastecimento do banco de sementes do solo, pela antecipação da colheita da cultura (AGOSTINETTO et al., 2001).

Práticas de manejo cultural, que favoreçam a habilidade competitiva da cultura podem ser importante estratégia de supressão das plantas daninhas (BALBINOT JR. et al., 2001). A irrigação da cultura do arroz é uma forma eficiente de manejo cultural, melhorando a competitividade da cultura frente às plantas daninhas. Além de suprir a necessidade de água da cultura, a irrigação serve como barreira física, impedindo que a maioria das plantas daninhas possa germinar e emergir em novos fluxos, além de melhorar a atividade e a eficiência de muitos herbicidas aplicados à cultura do arroz (CONCENÇO et al., 2006; ANDRES et al., 2007).

Para se conhecer melhor as relações de competição entre plantas daninhas e plantas cultivadas, pode-se recorrer aos modelos matemáticos empíricos que, através de simulações de competição, possuem a capacidade de prever, em fases

iniciais para determinadas situações, as perdas de produtividades e, por consequência, as reduções da produtividade final das culturas (AGOSTINETTO et al., 2004). A utilização de modelos empíricos de competição, como o derivado da hipérbole retangular (COUSENS, 1985), quantifica, através de variáveis explicativas, a relação entre a perda de produtividade da cultura e a infestação final de plantas daninhas.

Estudos têm sido realizados através de modelos para predição das perdas em diversas culturas de interesse econômico, como arroz (AGOSTINETTO et al., 2005; AGOSTINETTO et al., 2007; GALON et al., 2007); feijão (PASSINI et al., 2002; VIDAL et al., 2010); soja (FLECK et al., 2002; RIZZARDI et al., 2003b; HAZRA et al., 2011); trigo (BARROSO et al., 2011); e, algodão (CORTÉS et al., 2010). Assim, o manejo das plantas daninhas nessas culturas pode ser incrementado e racionalizado.

Algumas variáveis explicativas são referidas para identificar a perda de produtividade na cultura do arroz irrigado. Em estudo com *Echinochloa* spp., as variáveis população de plantas, massa da matéria seca da parte aérea, área foliar e cobertura do solo das plantas de capim-arroz adequaram-se satisfatoriamente ao modelo do estudo para inferir sobre a competitividade da cultura do arroz frente a essa planta daninha. A variável população de plantas de capim-arroz apresentou melhor ajuste ao modelo, comparativamente às variáveis cobertura do solo, área foliar e massa da matéria seca da parte aérea da planta daninha (AGOSTINETTO et al., 2007).

As hipóteses desse estudo são: a cultivar de arroz BRS Querência (ciclo curto) possui maior habilidade competitiva frente à competição com *C. esculentus*, quando comparada com a cultivar IRGA 424 (ciclo médio), em função da maior velocidade de desenvolvimento e ocupação do nicho; a antecipação da irrigação por inundação incrementa a habilidade competitiva da cultivar BRS Querência em competição com *C. esculentus*; e, os dados gerados pelo estudo se ajustarão ao modelo de regressão não linear derivado da hipérbole retangular.

Assim, os objetivos do estudo foram quantificar as perdas de produtividade de cultivares de arroz (BRS Querência - ciclo precoce e IRGA 424 - ciclo médio), em competição com diferentes níveis populacionais de *C. esculentus*; determinar as perdas de produtividade da cultivar de ciclo precoce (BRS Querência), em função de épocas de início da irrigação aos 14 e 21 dias após a emergência da cultura (DAE),

em competição com diferentes níveis populacionais de *C. esculentus*; e, estimar o grau de ajuste dos dados ao modelo hiperbólico de regressão.

### 3.2 Material e métodos

Realizaram-se dois estudos a campo, no Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFRSul), Campus CAVG, no Município de Pelotas/RS, no ano agrícola de 2010/11, que passam a ser descritos como estudos 1 e 2, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi completamente casualizado, com uma repetição. As diferentes populações de *C. esculentus* funcionaram como repetições, proporcionando a variância necessária para realizar as análises estatísticas pelo modelo hiperbólico proposto por Cousens (1985).

No estudo 1, os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial, em que o fator cultivares de arroz irrigado teve dois níveis: uma cultivar de ciclo curto (BRS Querência) e uma cultivar de ciclo médio (IRGA 424); e, o fator populações da planta competidora (*C. esculentus*) teve doze níveis para cada nível do fator cultivar. Para a cultivar BRS Querência, os níveis da planta daninha competidora foram: 0 (quatro testemunhas limpas); 64; 140; 144; 172; 180; 200; 280; 368; 808; 924; e, 1084 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup>. Já, para a cultivar IRGA 424, os níveis da planta daninha competidora foram: 0 (quatro testemunhas limpas); 56; 84; 184; 244; 264; 276; 360; 592; 604; 668; e, 740 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup>. As variáveis analisadas no estudo, supostamente associadas à perda de produtividade experimentada pelas cultivares de arroz, aos 25 DAE, foram: população da planta daninha (PP); massa da matéria seca da parte aérea da planta daninha (MMSPA); e, cobertura do solo pela planta daninha (CS).

Para o estudo 2, os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial, em que o fator épocas de irrigação inclui dois níveis (14 e 21 dias após a emergência da cultura (DAE)); e, o fator populações da planta daninha competidora teve dez e onze níveis para a primeira e segunda épocas de irrigação, respectivamente. Para o primeiro nível do fator irrigação (14 DAE), os dez níveis do fator da planta daninha competidora foram: 0 (quatro testemunhas limpas); 36; 56; 64; 92; 104; 188; 224; 344; e, 356 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup>. Para o segundo nível do fator irrigação (21 DAE), os onze níveis da competidora foram: 0 (quatro testemunhas limpas); 284; 300; 320; 356; 372; 448; 496; 520; 548 e 996 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup>. As

populações da planta daninha, em ambos os estudos foram, estabelecidas aos sete DAE da cultura (10/12/2010).

A área escolhida para a condução dos estudos era naturalmente infestada com *C. esculentus*. Dessa forma, as populações da planta daninha foram ajustadas conforme os níveis populacionais constante dos tratamentos. Cada unidade experimental contou com área de 7,65m<sup>2</sup> (5,0m x 1,53m), com nove linhas de arroz espaçadas 0,17m. Para ambos os estudos, o preparo da área foi feito usando-se o sistema de cultivo convencional, com aração, gradagens e nivelção. A adubação de base foi realizada a lanço, conforme a necessidade da cultura, informada pela análise de solo. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2009).

As cultivares de arroz utilizadas em ambos os estudos foram semeadas no dia 24/11/2010, com semeadora de nove linhas, em densidade de sementes de 103kg ha<sup>-1</sup>, o que proporcionou população final de, aproximadamente, 380 plantas de arroz m<sup>-2</sup>. A emergência da cultura ocorreu no dia 03/12/2010. A adubação nitrogenada em cobertura (72kg N ha<sup>-1</sup>) foi parcelada em duas épocas: metade da dose foi aplicada imediatamente antes da irrigação (17/11/2010) e metade quando da diferenciação do primórdio floral do arroz. A irrigação da área experimental foi realizada no dia 17/11/2010, ou seja, 14 DAE para o estudo 1 e conforme os níveis do tratamento irrigação, para o estudo 2.

O controle dos indivíduos excedentes de *C. esculentus* das populações desejadas nos estudos e também de outras espécies daninhas que se estabeleceram nas unidades experimentais, foi realizado por herbicidas aos sete DAE. Para o controle das espécies da família Poaceae foi utilizado o herbicida Clincher<sup>®</sup> (cylalofop-butyl), na dose de 1,5L ha<sup>-1</sup>, acrescido de Veget Oil<sup>®</sup> na dose de 1L ha<sup>-1</sup>. Para as plantas ciperáceas excedentes aos níveis populacionais desejados e demais espécies de folhas largas, foi utilizado o herbicida Basagran<sup>®</sup> 600 (bentazon), na dose de 1,6L ha<sup>-1</sup>, acrescido de óleo mineral Assist<sup>®</sup> na dose de 0,5% v/v. Para o procedimento de estabelecimento das populações de *C. esculentus*, as plantas foram previamente protegidas com copos plásticos ou por placas de papel pardo, para que não fossem atingidas pelo herbicida bentazon.

As variáveis avaliadas aos 25 DAE, foram: população de plantas (PP), massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) e cobertura do solo (CS). Para determinar

a MMSPA foram coletadas plantas numa área de 0,25m<sup>2</sup> (0,5m x 0,5m) que, posteriormente, foram secas em estufa à temperatura constante de 60°C até atingirem massa constante, quando foram pesadas. Realizou-se a quantificação da PP mediante contagem dos indivíduos presentes em duas áreas de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5m x 0,5 m) em cada unidade experimental. Determinou-se a CS por avaliação visual, usando-se as médias de dois avaliadores.

Para determinar a produtividade de grãos, a área útil de cada unidade experimental (3m<sup>2</sup>), foi colhida de acordo com a maturação de cada cultivar, quando o teor de umidade dos grãos atingiu cerca de 22%. Em função de ataque de pássaros chupins (*Molothrus bonariensis*), algumas unidades experimentais tiveram suas áreas úteis reduzidas para 1m<sup>2</sup>. Após pesagem dos grãos, determinou-se sua umidade, sendo os valores corrigidos para teor de 13% de umidade. A partir dos dados de produtividade de grãos calcularam-se as perdas percentuais, em relação às parcelas mantidas sem infestação (testemunha), de acordo com a equação:

$$\text{Perda (\%)} = [(Ra - Rb) / Ra] \times 100 \quad (\text{equação 3})$$

onde: *Ra* e *Rb*: produtividades da cultura sem ou com presença de *C. esculentus*, respectivamente.

Os valores de massa da matéria seca da parte aérea (g m<sup>-2</sup>) e cobertura do solo (%) foram previamente multiplicados por 100, evitando-se assim necessidade de correção desses valores no modelo (YENISH et al., 1997; ASKEW; WILCUT, 2001; AGOSTINETTO et al., 2004; FLECK et al., 2004; GALON et al., 2007).

As relações entre as perdas percentuais de produtividade do arroz (Pp), em função das variáveis explicativas população de plantas (PP), massa da matéria seca da parte aérea das plantas (MMSPA) e cobertura do solo (CS) foram calculadas separadamente para cada cultivar, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivado da hipérbole retangular, conforme proposto por Cousens (1985):

$$Pp = [ i \times X / (1 + (i / a) \times X) ] \quad (\text{equação 4})$$

onde: Pp = perda de produtividade (%); X = variáveis explicativas PP, MMSPA ou CS; *i* e *a* = perdas de produtividade (%) por unidade de planta de *C. esculentus*

quando o valor da variável se aproxima de zero ou quando tende ao infinito, respectivamente.

O ajuste dos dados ao modelo foi realizado através do procedimento *Proc Nlin* do programa computacional SAS (SAS, 1989). Para este procedimento, foi utilizado o método Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, for mínima (RATKOWSKY, 1983). O valor da estatística F ( $p \leq 0,05$ ) foi utilizado como critério de análise dos dados ao modelo. O critério de aceitação do ajuste dos dados ao modelo se baseou no maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no menor valor do quadrado médio do resíduo (QMR).

### 3.3 Resultados e discussão

Em relação às diferenças de habilidade competitiva entre cultivares de arroz e níveis populacionais de *C. esculentus* (estudo 1), observou-se diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para interação dos fatores. Os valores da estatística F demonstraram significância para todas as variáveis analisadas e houve ajustes satisfatórios dos dados ao modelo de regressão derivado da hipérbole retangular, evidenciados pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) relativamente altos e pelos valores dos quadrados médios dos resíduos relativamente baixos (Figuras 9, 10 e 11).

Para todas as variáveis, os resultados mostraram que os valores estimados para o parâmetro *i* foram menores para a cultivar BRS Querência (ciclo curto), comparativamente à cultivar IRGA 424 (ciclo médio). Isso demonstra que a redução do ciclo da cultivar incrementa sua habilidade competitiva, o que pode decorrer da maior velocidade de desenvolvimento inicial, com consequente ocupação precoce do nicho e apropriação antecipada dos recursos destinados ao crescimento (luz, água, CO<sub>2</sub> e nutrientes) (Figuras 9, 10 e 11).

Considerando-se o parâmetro *i* do modelo, índice utilizado para comparação da competitividade relativa entre espécies (SWINTON et al., 1994), observou-se, na média dos valores do parâmetro para as variáveis analisadas, que a cultivar BRS Querência foi cerca de 50% mais competitiva do que a cultivar IRGA 424. Assim, a cultivar com o ciclo vegetativo curto, demonstrou habilidade competitiva superior frente à planta daninha (Figuras 9, 10 e 11).

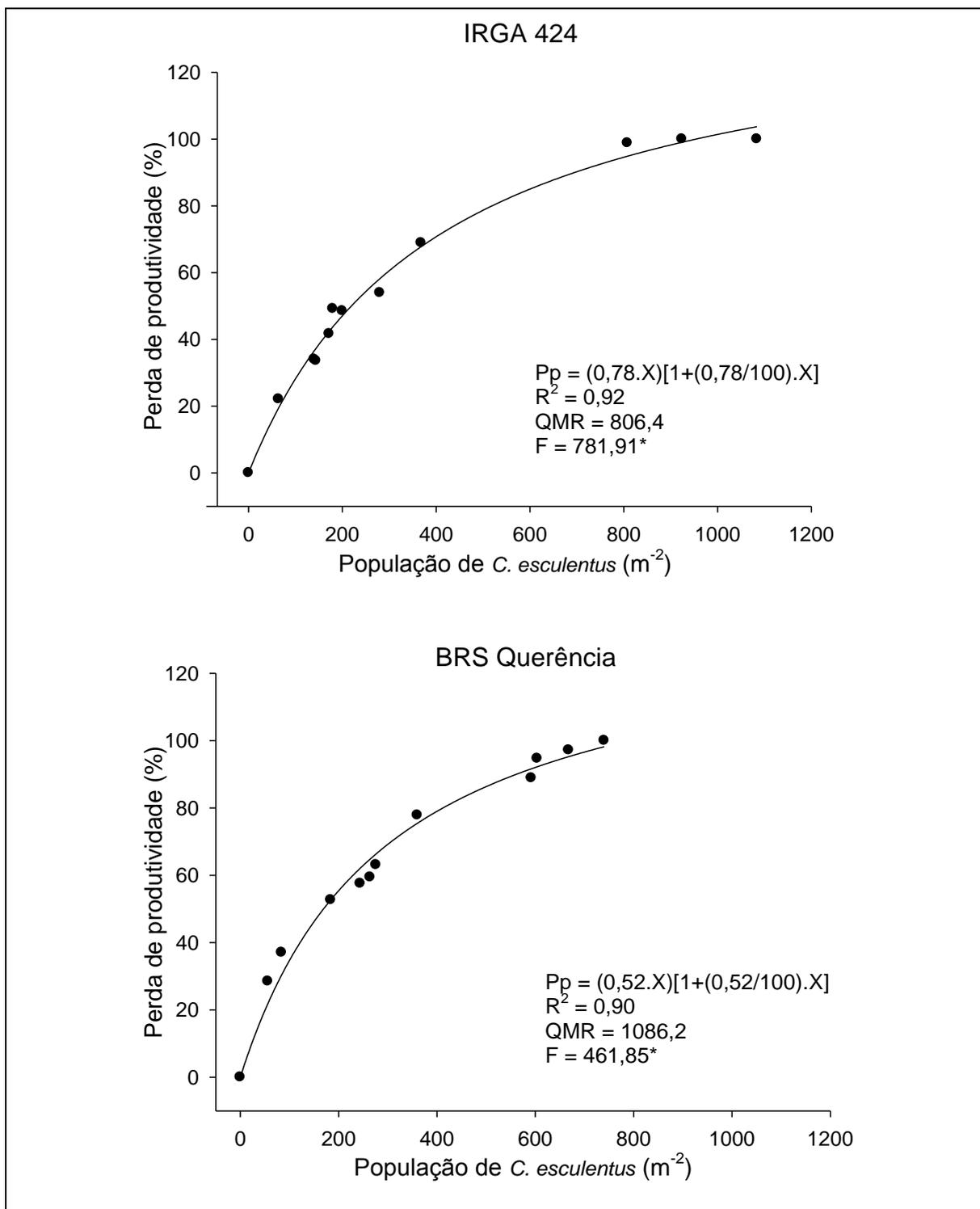


Figura 9 - Perda de produtividade (Pp) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência, em função de níveis populacionais de *Cyperus esculentus* aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11. R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

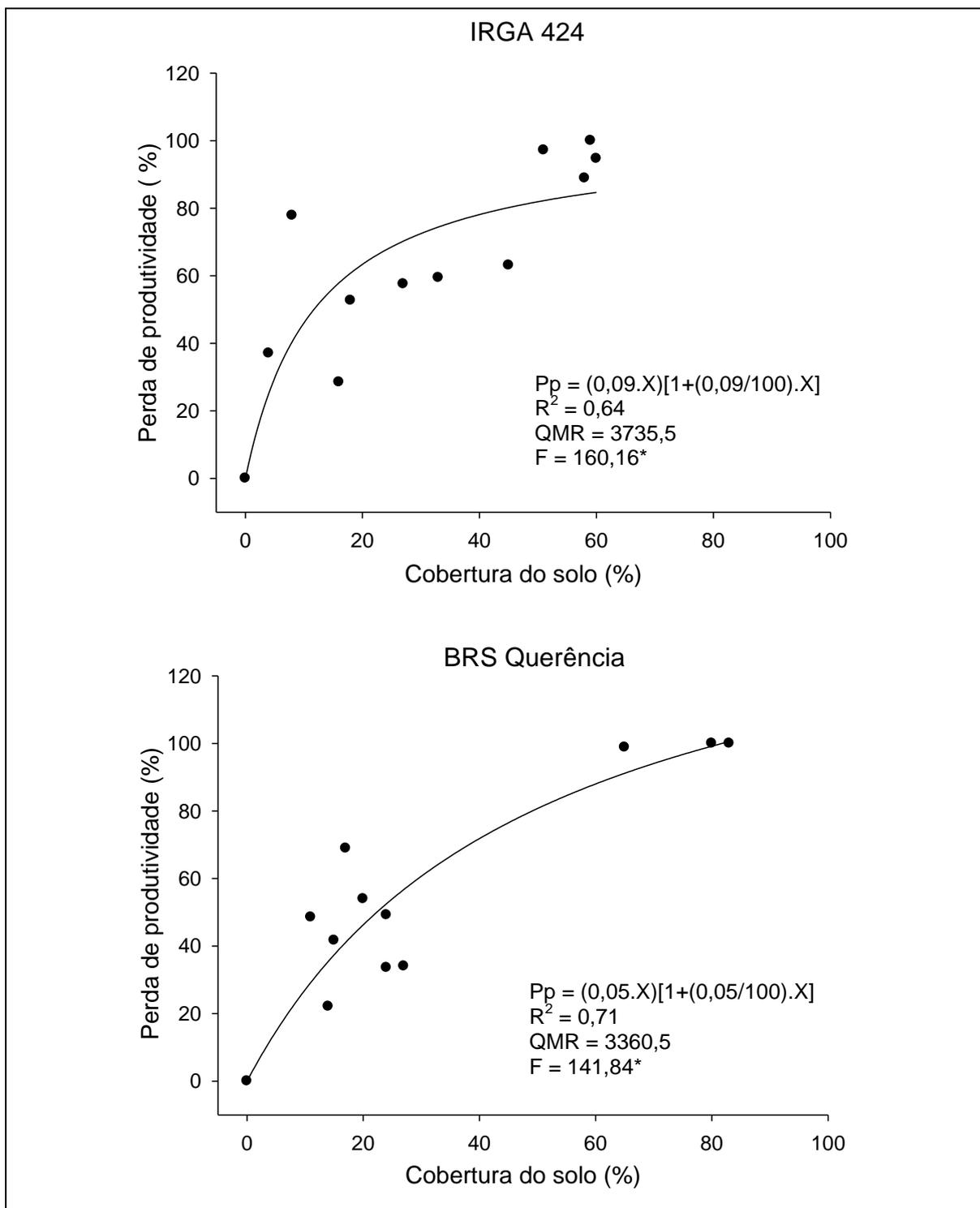


Figura 10 - Perda de produtividade ( $P_p$ ) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência em função da cobertura estimada do solo pela parte aérea de *Cyperus esculentus* aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.  $R^2$ : Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

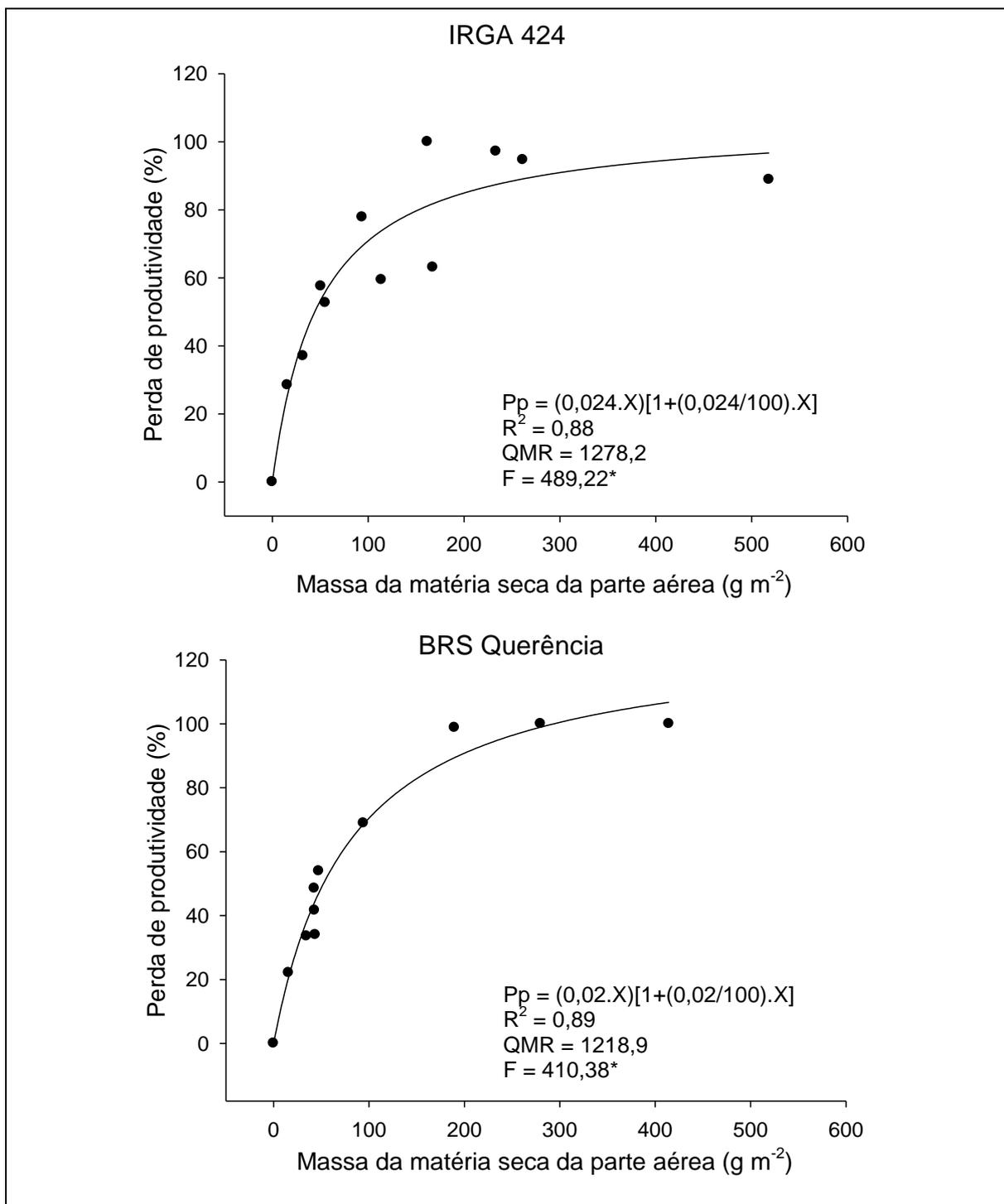


Figura 11 - Perda de produtividade (Pp) das cultivares de arroz IRGA 424 e BRS Querência em função da massa da matéria seca da parte aérea de *Cyperus esculentus* aos 25 dias após a emergência (DAE), IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11. R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

Além da maior velocidade de ocupação do nicho ecológico, a diferença na habilidade competitiva entre cultivares de arroz pode decorrer de características morfofisiológicas, tais como estatura e acúmulo de massa seca (BALBINOT JR. et

al., 2003), e/ou ainda dever-se ao elevado erro padrão na estimativa do parâmetro  $i$  do modelo, devido à variabilidade normalmente observada em experimentos a campo (DIELEMAN et al., 1995). Tal fato pode dificultar a estimativa correta da perda de produtividade da cultura sob baixas populações da planta daninha (RIZZARDI et al., 2003b; GALON et al., 2007).

Valores diferenciados para o parâmetro  $i$  entre cultivares com diferentes ciclos vegetativos, também verificaram-se em estudos que utilizaram o mesmo modelo. Corroborando com os resultados obtidos, as cultivares de arroz IRGA 417 e IRGA 416 (ciclo curto) apresentaram parâmetro  $i$  médio cerca de 130% inferior ao verificado para a cultivar BRS Fronteira (ciclo médio), quando submetidas à competição com capim-arroz (GALON et al., 2007). Ainda, a cultivar IRGA 417 mostrou incremento de 28% na habilidade competitiva, comparada à cultivar BR-IRGA 409 (ciclo médio), quando em competição com a cultivar EEA-406, simuladora de arroz vermelho (AGOSTINETTO et al., 2005).

Para a variável população da planta daninha (PP), o parâmetro  $i$  revelou que, para cada unidade da planta daninha  $m^{-2}$ , a cultivar IRGA 424 perdeu 0,78% em produtividade de grãos, enquanto a cultivar BRS Querência teve perda de apenas 0,52% (Figura 9). Para a variável cobertura do solo (CS), o mesmo parâmetro indicou perda de produtividade de 0,09 e 0,05%, para IRGA 424 e BRS Querência, respectivamente (Figura 10). Já, para a variável massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) as perdas estimadas de produtividade foram de 0,024 e 0,02% para IRGA 424 e BRS Querência, respectivamente (Figura 11).

Cultivares de ciclos vegetativos diferentes podem comportar-se de maneira independente quando em competição interespecífica e, dessa forma, o reflexo na produtividade pode também ser diferenciado (FLECK et al., 2004). Pelos baixos valores obtidos para o parâmetro  $i$ , constata-se baixa competitividade de *C. esculentus* comparado a outras espécies daninhas, como capim-arroz (GALON et al., 2007) ou arroz-vermelho, esse emergindo até oito dias após a cultivar IRGA 417 (AGOSTINETTO et al., 2005). Competindo com capim-arroz, ocorreram perdas unitárias de 4,71 e 13,67% para a cultivar de ciclo curto IRGA 417 e para a cultivar de ciclo médio BRS Fronteira, respectivamente (GALON et al., 2007). Já, quando em competição com arroz-vermelho, a cultivar de ciclo curto IRGA 417 experimentou perdas de 4,17% por unidade da planta daninha (AGOSTINETTO et al., 2005).

Quanto ao parâmetro  $a$  do modelo, para todas as variáveis analisadas o modelo superestimou a assíntota, sendo necessário restringir seu valor em 100% para todas as situações em estudo. Esse fato pode ter ocorrido em função da reduzida competitividade da planta daninha, quando em baixas populações, ou pelas populações da planta daninha usadas no estudo não terem sido suficientemente altas para estimar a perda máxima de produtividade (AGOSTINETTO et al., 2004). Para obtenção de estima confiável do parâmetro  $a$ , os estudos devem possuir populações suficientemente altas, mesmo que muitas vezes não representem a realidade de lavouras (COUSENS, 1991). Dessa forma, como adotado em outros estudos, o valor da assíntota foi fixado em 100%, assumindo-se essa restrição de perda máxima, pois não há explicação biológica para perdas superiores a 100% (YENISH et al., 1997; ASKEW; WILCUT, 2001; AGOSTINETTO et al., 2004; FLECK et al., 2004).

Comparando-se as variáveis explicativas do estudo, para ambas as cultivares, observou-se que a ordem de predição seguiu a seguinte hierarquia: população de plantas (PP), massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) e cobertura do solo (CS), tendo como pressuposto que o melhor ajuste é dado em função dos maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e dos menores quadrados médios dos resíduos (QMR) (Figuras 9, 10 e 11).

Ao se considerarem somente as variáveis CS e MMSPA, percebe-se que a CS não se ajustou satisfatoriamente ao modelo, evidenciado pelos baixos coeficientes de determinação (0,64 e 0,71 para IRGA 424 e BRS Querência, respectivamente). Dessa forma, CS não deve ser utilizada em substituição a variável PP (Figura 10), considerando-se que essa não teve um ajuste satisfatório ( $R^2$  acima de 80%). Por outro lado, a variável MMSPA, alcançou ajustes satisfatórios (0,88 e 0,89 para IRGA 424 e BRS Querência, respectivamente). Conseqüentemente, essa variável poderia ser utilizada em substituição à população de plantas na tomada de decisão (Figura 11). Contudo, recomenda-se que as variáveis utilizadas na previsão das perdas devem ser simples e de fácil utilização e, preferivelmente, não destrutivas (VITTA; FERNANDEZ QUINTANILLA, 1996; RIZZARDI; FLECK, 2004).

A seqüência de variáveis em relação ao ajuste do modelo confere com aquela observada quando cultivares de arroz de diferentes ciclos foram estudadas em competição com capim-arroz (GALON et al., 2007). Já, na competição de cultivares de arroz com arroz-vermelho e com cultivar simuladora de arroz-vermelho

(EEA 406), as variáveis que melhor se ajustaram ao modelo foram população de plantas e cobertura do solo, a qual ajustou-se melhor ao modelo do que a massa da matéria seca da parte aérea (AGOSTINETTO et al., 2004).

Os resultados referentes às épocas de irrigação e aos níveis populacionais de *C. esculentus* (estudo 2) apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) na interação dos fatores testados. Os valores da estatística F demonstraram significância para todas as variáveis analisadas e houve ajustes satisfatórios do modelo de regressão derivado da hipérbole, evidenciados pelos elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e pelos baixos valores dos quadrados médios dos resíduos (Figuras 12, 13 e 14).

Independente da variável analisada, os valores obtidos para o parâmetro  $i$  aumentaram quando se adiou a irrigação dos 14 para os 21 DAE, mostrando que a cultivar BRS Querência perde competitividade com o atraso da irrigação. Como o parâmetro  $i$  é utilizado na comparação da competitividade relativa entre as espécies (SWINTON et al., 1994), constatou-se que, na média de todas as variáveis analisadas, a antecipação da irrigação dos 21 para os 14 DAE, incrementou a habilidade competitiva da cultivar BRS Querência contra *C. esculentus* em 106% (Figuras 12, 13 e 14).

A antecipação da entrada de água na lavoura também favoreceu a habilidade competitiva da cultivar BRS-Pelota, em relação ao capim-arroz. Nesse caso, o atraso na irrigação de 1 para 10 e 20 dias após a aplicação do herbicida causou perdas de produtividade na ordem de 24 e 34%, respectivamente (AGOSTINETTO et al., 2007). Noutra situação, a antecipação da irrigação de 30 para 15 e 1 DAE do arroz sem a utilização de herbicida, incrementou a produtividade da cultivar Qualimax 1 em 100 e 118%, respectivamente, quando em competição com *C. esculentus* e *Echinochloa* spp. (AGOSTINETTO et al., 2011). A antecipação da irrigação na lavoura de arroz irrigado proporciona maiores desenvolvimento e estabelecimento das plantas da cultura, diminuindo a interferência e as perdas causadas pelas plantas daninhas (CARLESSO et al., 1998).

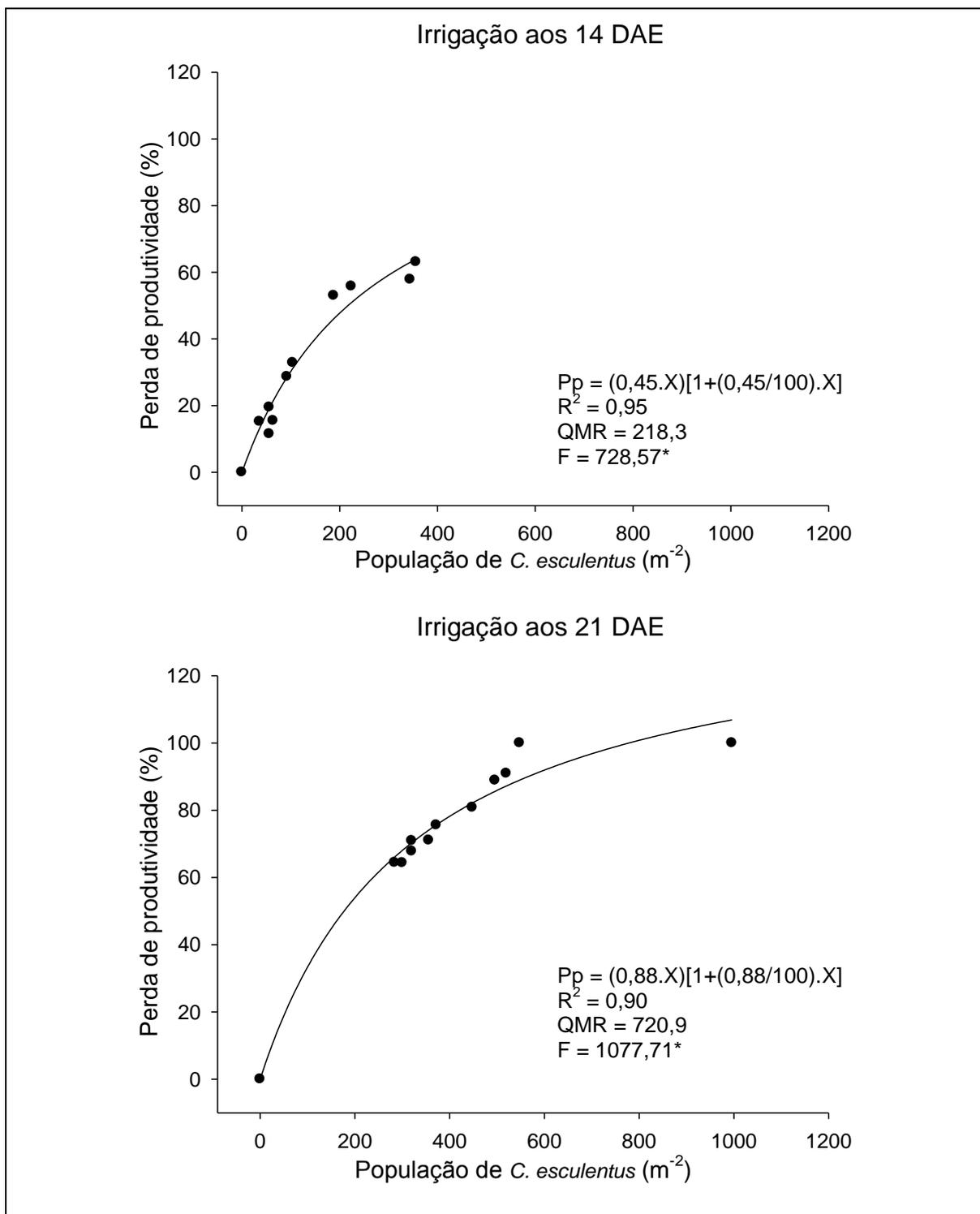


Figura 12 - Perda de produtividade (Pp) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e níveis populacionais de *Cyperus esculentus* aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11. DAE: dias após a emergência; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

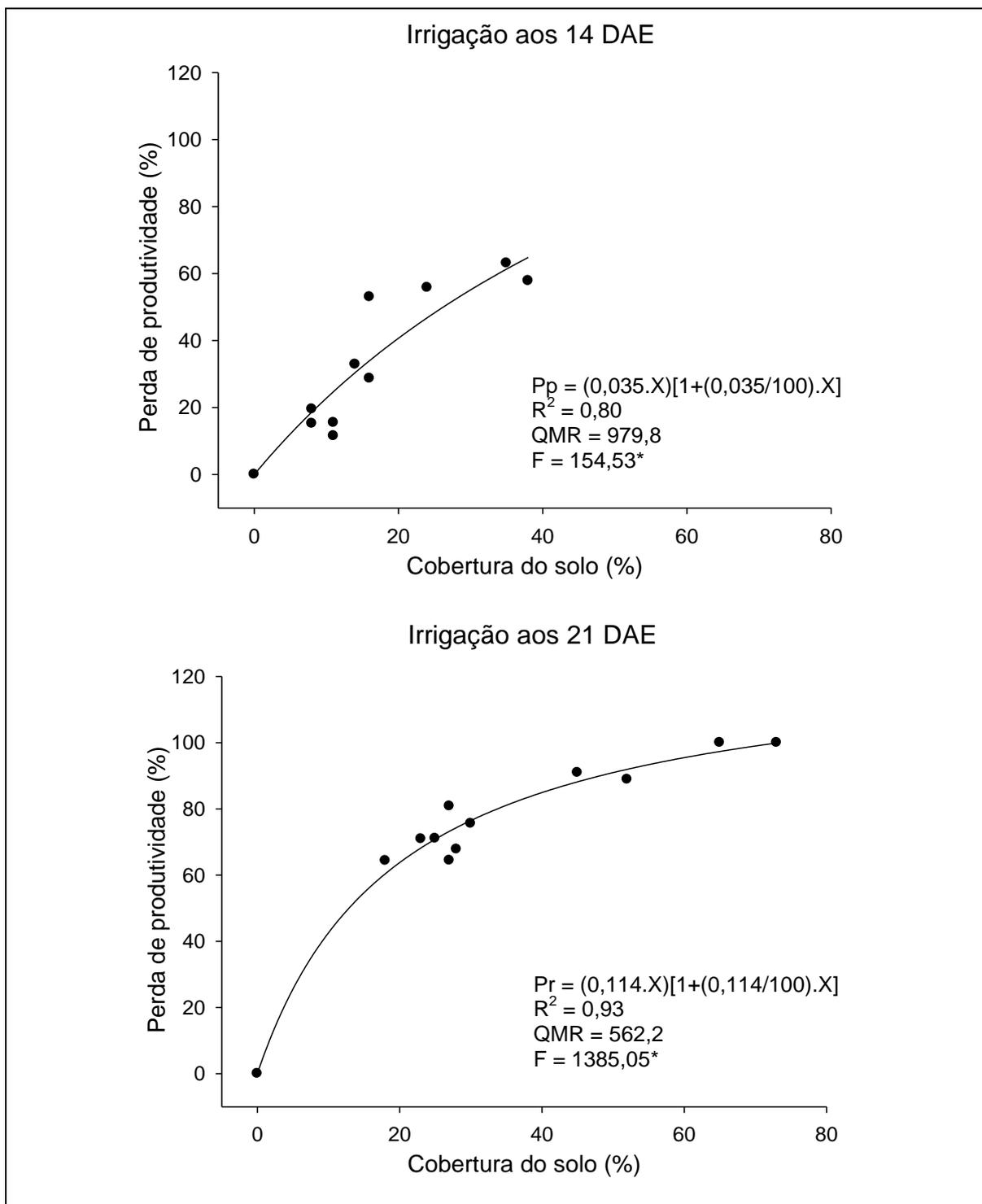


Figura 13 - Perda de produtividade (Pp) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e cobertura estimada do solo pela parte aérea de *Cyperus esculentus* aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11. DAE: dias após a emergência;  $R^2$ : Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

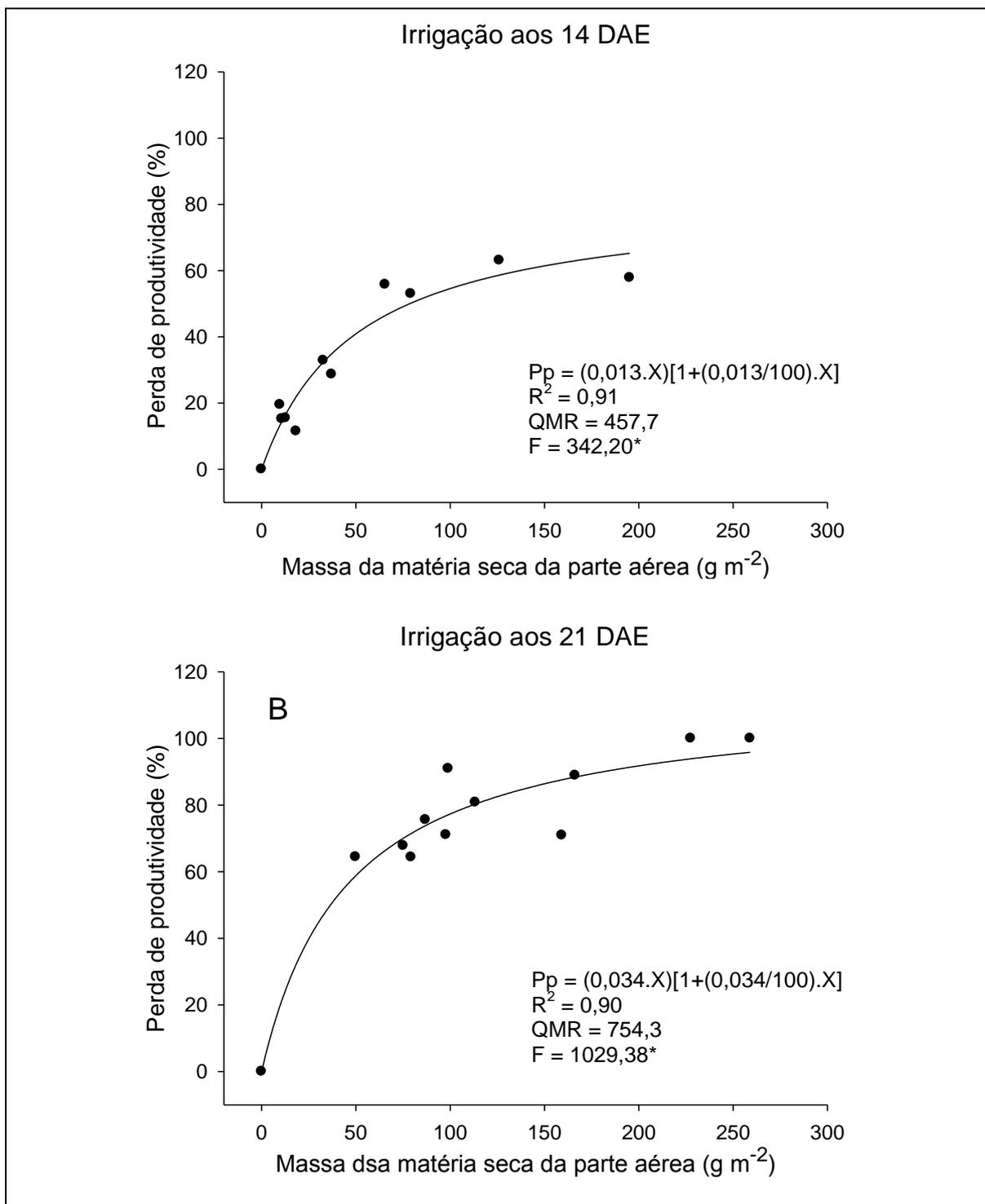


Figura 14 - Perda de produtividade ( $P_p$ ) da cultivar de arroz BRS Querência em função de duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE) e a massa da matéria seca da parte aérea de *Cyperus esculentus* aos 25 DAE, IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11. DAE: dias após a emergência;  $R^2$ : Coeficiente de determinação; QMR: Quadrado médio do resíduo; \*Significativo a 5% de probabilidade.

Para a variável população da planta daninha *Cyperus esculentus* (PP), o parâmetro  $i$  revelou que, para cada unidade da planta daninha  $\text{m}^{-2}$ , ocorreu perda de

produtividade de grãos da cultivar BRS Querência de 0,45% quando realizou-se a irrigação aos 14 DAE e de 0,88% quando realizou-se a irrigação aos 21 DAE (Figura 12). Para a variável cobertura do solo (CS), o mesmo parâmetro indicou perdas de produtividade 0,04 e 0,11% quando a irrigação foi realizada aos 14 e 21 DAE, respectivamente (Figura 13). Por sua vez, a variável massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) indicou perdas de produtividade de 0,013 e 0,034% quando a irrigação foi realizada aos 14 e 21 DAE, respectivamente (Figura 14).

De modo similar ao observado no estudo 1, os valores do parâmetro  $i$  demonstraram baixo potencial competitivo de *C. esculentus* com a cultivar testada em função da época de irrigação (Figuras 12, 13 e 14). Em estudo com capim-arroz constataram-se perdas de 8,4; 10,4; e, 11,3% quando a irrigação foi realizada 1, 10 e 20 após a aplicação do herbicida, respectivamente (AGOSTINETTO et al., 2007).

Assim como decorreu no estudo 1, o parâmetro  $a$  do modelo superestimou as perdas de produtividade da cultivar BRS Querência para ambos os níveis do fator épocas de irrigação em todas as variáveis analisadas, sendo necessário restringir seu valor em 100% (Figuras 12, 13 e 14). Tal decisão foi aplicada pelos motivos apontados no estudo 1.

Comparando-se as variáveis explicativas, pôde-se observar que a hierarquia de ajuste das variáveis ao modelo, tal como ocorreu no estudo 1, se deu na ordem população da planta daninha, massa da matéria seca da parte aérea e cobertura do solo, levando-se em conta o pressuposto que melhor ajuste dos dados ao modelo se obtém maior coeficiente de determinação e menor quadrado médio do resíduo (Figuras 12, 13 e 14).

Comparando-se somente as variáveis CS e MMSPA se percebe satisfatório ajuste dessas ao modelo ( $R^2 \geq 80\%$ ), portanto, essas também poderiam ser utilizadas na tomada de decisão de controle de *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado (Figuras 13 e 14). Porém, como ressaltado no estudo 1, a variável população da planta daninha é de utilização mais simples e fácil para esse fim. Em estudo sobre a competitividade de capim-arroz com a cultivar de arroz BRS-Pelota, em função da época de irrigação, também houve melhor ajuste da variável população da planta daninha ao modelo, quando comparada com massa da matéria seca da parte aérea, área foliar, e cobertura do solo (AGOSTINETTO et al., 2007).

Considerando-se a produtividade média de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, de 7.700 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB 2011; IRGA, 2011b), o preço médio de

12,4 dólares pagos por saca de 50kg (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2011; IRGA 2011a) e o custo do controle de *C. esculentus* de 54,3 dólares ha<sup>-1</sup>, estima-se que o custo de seu controle equivaleria a 2,84% da produtividade da cultura do arroz. Assim, analisando-se os resultados do estudo 1, onde houve perdas de produtividade de 0,52% e 0,78% para as cultivares de arroz BRS Querência e IRGA 424, respectivamente, por planta de *C. esculentus* m<sup>-2</sup> e usando-se a variável população da planta daninha como estimador (melhor ajuste ao modelo), seriam necessárias infestações de cinco e três plantas m<sup>-2</sup>, para justificar economicamente o controle nas respectivas cultivares.

Em relação a épocas de irrigação (estudo 2), tomando-se por base o melhor ajuste ao modelo de regressão para a variável população da planta daninha e perdas de produtividade por planta de *C. esculentus* de 0,45 e 0,88%, quando a irrigação foi realizada aos 14 e 21 DAE, respectivamente, verifica-se que, se a irrigação for realizada precocemente, são necessárias seis plantas m<sup>-2</sup> para justificar o controle. Já, quando a irrigação for realizada aos 21 DAE, são necessárias apenas três plantas m<sup>-2</sup> para que o controle seja econômico. A tomada de decisão de controle sob menor população da planta daninha ocorre pela diminuição da habilidade competitiva da cultivar BRS Querência pelo atraso da irrigação (Figuras 12, 13 e 14).

Analisando-se conjuntamente os resultados dos dois estudos, infere-se, por exemplo, que a utilização de cultivar com menor habilidade competitiva (em função do ciclo ou de outra característica agrônômica) altera o momento da tomada de decisão. Assim, uma cultivar menos competitiva faz com que o controle, que é normalmente químico na cultura do arroz, deva ser realizado com menor população de plantas daninhas, pois sua interferência na produtividade ocorre sob menor população de competidores. De forma semelhante, manejos culturais diferenciados, como antecipar a irrigação para período próximo à adoção das medidas de controle, podem incrementar a habilidade competitiva do arroz, alterando o momento da tomada de decisão de controle e, possivelmente, a escolha de moléculas herbicidas que possam ser mais baratas e provocar menor impacto ambiental.

As informações obtidas implicam diretamente na tomada de decisão por parte dos responsáveis técnicos. O custo do controle, os impactos ambientais do uso de herbicida e a possibilidade de intoxicação dos agentes envolvidos no seu preparo e aplicação, podem ser minimizados em função da escolha de cultivar mais

competitiva ou da adoção de manejo cultural que possibilite maior potencial competitivo com as plantas daninhas.

### 3.4 Conclusões

A cultivar de arroz BRS Querência, de ciclo curto de desenvolvimento, apresenta maior habilidade competitiva com *Cyperus esculentus* do que a cultivar IRGA 424, de ciclo médio

A variável população de *Cyperus esculentus* é a que melhor se ajusta ao modelo, embora a variável massa da matéria seca da parte aérea possa ser utilizada para estimar perdas de produtividade na cultura do arroz quando em competição com *Cyperus esculentus*.

A presença de uma planta de *Cyperus esculentus* m<sup>-2</sup> causa perdas de produtividade da cultura que variam de 0,52 a 0,78% para as cultivares BRS Querência e IRGA 424, respectivamente, considerando a variável população da planta daninha pelo melhor ajuste dos dados ao modelo hiperbólico.

O atraso da irrigação dos 14 para os 21 dias após a emergência da cultura diminui a habilidade competitiva da cultivar BRS Querência, causando perdas de produtividade da cultura que variam de 0,45 a 0,88% para cada planta de *Cyperus esculentus* m<sup>-2</sup>, também considerando a variável população da planta daninha.

A planta daninha *Cyperus esculentus* mostra-se pouco competitiva com a cultura arroz, sendo necessário no mínimo, considerando a variável população de plantas, quatro unidades da planta daninha m<sup>-2</sup> em função do ciclo das cultivares e época de irrigação da cultura, para que o controle se justifique.

O modelo de regressão não linear derivado da hipérbole retangular estima adequadamente as perdas de produtividade de grãos na cultura do arroz, tanto em função de diferenças de ciclo vegetativo das cultivares, quanto da época de início da irrigação.

## **4 CAPÍTULO III – Adoção de níveis de dano econômico para decisão de controle de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado**

### **4.1 Introdução**

As plantas daninhas afetam a produtividade de grãos do arroz irrigado, pois competem com a cultura pelos recursos de desenvolvimento, dentre eles, luz, água e nutrientes (FLECK et al., 2008; SOSBAI, 2010). A ausência de seu controle pode ocasionar perdas superiores a 80% (ANDRES; MACHADO, 2004; FLECK et al., 2004).

Dentre as plantas daninhas que afetam direta e/ou indiretamente a produtividade da cultura do arroz, as espécies do gênero *Cyperus* se destacam, e dentre elas, *Cyperus esculentus*. Diretamente, a espécie compete por recursos com a cultura (ERASMO et al., 2003; PANOZZO et al., 2009; SOSBAI, 2010) e indiretamente, produzindo metabólitos secundários que podem ter efeito alelopático sobre a cultura do arroz (DROST; DOLL, 1980; KISSMANN, 2007; BUZSÁKI et al., 2008).

O controle químico ainda é, dentro do manejo integrado de plantas daninhas na cultura, a ferramenta mais utilizada, em função da eficiência, praticidade (ERASMO et al., 2004), rapidez e uniformidade de operação (AGOSTINETTO et al., 2011). Porém, torna-se cada vez mais importante a correta utilização da alternativa química para controle, pois os efeitos das moléculas herbicidas no ambiente muitas vezes são desconhecidos (MARCHELAN et al., 2010), comprometendo negativamente homens e animais não alvos e culturas concomitantes e/ou subsequentes. Assim, a diminuição do uso de herbicidas tende a minimizar seus impactos indesejáveis (RIZZARDI; FLECK, 2004).

Para reduzir os potenciais efeitos indesejáveis dos herbicidas, pode-se recorrer a métodos que auxiliam a tomada de decisão de controle diminuindo, assim, o seu uso de forma indiscriminada. Existem ferramentas que podem quantificar, de forma adequada, o dano provável de população conhecida de plantas daninhas sobre o crescimento e produtividade de determinada cultura.

Quando a população da planta daninha é elevada, a decisão de controle torna-se fácil, em função do conhecimento prévio do prejuízo potencial que sua competição causa à produtividade da cultura. Porém, em baixas populações, a decisão de adotar ou não alguma medida de controle é dificultada pela existência de estreita relação entre o custo dessa medida e quanto prejuízo a população da planta daninha pode causar à produtividade (KNEZEVIC et al., 1997; AGOSTINETTO et al., 2007; PORTUGAL; VIDAL, 2009). Assim, se for possível prever antecipadamente a perda de produtividade que as plantas daninhas causam à cultura, poder-se-á determinar se é viável ou não a adoção de medidas de controle (ADATI et al., 2006).

A projeção entre perdas causadas pela competição exercida pelas plantas daninhas e o custo das medidas de controle disponíveis, permitem avaliar o lucro líquido da cultura. Considera-se que o controle somente se justifica quando seu custo for igual ou inferior ao prejuízo causado pela competição das plantas daninhas à cultura (BAUER; MORTENSEN, 1992; AGOSTINETTO et al., 2005). Essa estratégia de manejo é chamada de nível de dano econômico (NDE), o qual é definido como a população de plantas daninhas no qual o custo de controle é igual ou menor ao valor da perda de produtividade, caso nenhuma medida de controle for tomada (COUSENS et al., 1987; BAUER; MORTENSEN, 1992; COBLE; MORTENSEN, 1992; LINDQUIST; KROPFF, 1996).

A estimativa do NDE de determinada planta daninha sobre a cultura é fortemente influenciada por diversos fatores como: espécie daninha, nível populacional da planta daninha, época de emergência da planta daninha em relação à cultura, potencial produtivo da cultura na ausência da planta daninha, preço pago pela produção da cultura, custo de controle da planta daninha, eficiência do método de controle e práticas de manejo adotadas (KNEZEVIC et al., 1997; AGOSTINETTO et al., 2005; GALON et al., 2007).

Dentre as características relacionadas à cultura que podem alterar sua habilidade competitiva e, por consequência, modificar o NDE da planta daninha,

incluem-se o ciclo das cultivares e práticas de manejo, como, por exemplo, a irrigação (GALON et al., 2007).

Cultivares de ciclo mais curto podem se desenvolver inicialmente com maior velocidade, ocupando precocemente o nicho e competindo mais habilmente com as plantas daninhas. Assim, características que favoreçam principalmente a interceptação da luz pela cultura, podem assegurar seu sucesso competitivo com as plantas daninhas (FLECK et al., 2003b).

A irrigação figura entre práticas de manejo que também podem favorecer a cultura frente à competição das plantas daninhas. O manejo de irrigação, além de favorecer a ação e a eficiência dos herbicidas (ANDRES et al., 2007), traz outros benefícios à cultura. Por exemplo, a lâmina d'água atua como barreira física de impedimento da emergência de novos fluxos da maioria das espécies daninhas (ANDRES; MACHADO, 2004; CONCENÇO et al., 2006; AGOSTINETTO et al., 2011).

A utilização de cultivares de arroz que possuam maior habilidade competitiva e a adoção de práticas de manejo que contemplem suas necessidades podem aumentar os NDE, dessa forma minimizando e/ou protelando a necessidade de adoção de medidas de controle (GALON et al., 2007).

Diante do exposto, as hipóteses desse estudo são que o ciclo mais curto da cultivar de arroz incrementa a habilidade competitiva e aumenta o NDE de *C. esculentus* na cultura e práticas diferenciadas de manejo, como a antecipação da irrigação, incrementam a habilidade competitiva da cultivar de arroz BRS Querência frente a *C. esculentus*. Assim, o objetivo desse estudo foi determinar os níveis de dano econômico de *C. esculentus* em arroz irrigado em função de diferenças do ciclo vegetativo de cultivares e de épocas de irrigação.

## **4.2 Material e métodos**

Dois estudos foram realizados a campo, no Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), Campus CAVG, no Município de Pelotas/RS, no ano agrícola de 2010/11, que passam a ser chamados de estudos 1 e 2, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado, em ambos os estudos, foi completamente casualizado, com uma repetição. No estudo 1, os tratamentos dispuseram-se em esquema fatorial, em que o fator cultivares de arroz irrigado teve

dois níveis: cultivar de ciclo curto (BRS Querência) e cultivar de ciclo médio (IRGA 424); e, o fator populações da planta competidora (*C. esculentus*) incluiu doze níveis, conforme foi descrito no capítulo II.

No estudo 2, arranjaram-se os tratamentos em esquema fatorial, em que o fator épocas de irrigação teve dois níveis (14 DAE e 21 dias após a emergência da cultura (DAE)) e o fator populações da planta daninha incluiu dez e onze níveis de *C. esculentus* para a primeira e segunda épocas de irrigação, respectivamente, também conforme foi descrito no capítulo II. As populações da planta daninha, em ambos os estudos, foram estabelecidas aos sete DAE da cultura (10/12/2010); e, nesse estudo, foi utilizada como reagente a cultivar de arroz irrigado de ciclo curto BRS Querência.

A área escolhida para a condução dos estudos era naturalmente infestada com *C. esculentus*. Dessa forma, sua população foi ajustada conforme os níveis populacionais constantes dos tratamentos. Cada unidade experimental contou com área de 7,65m<sup>2</sup> (5,0m x 1,53m), incluindo nove linhas de arroz espaçadas 0,17m. Para ambos os estudos, o preparo do solo da área foi realizado pelo sistema de cultivo convencional, com aração, gradagens e nivelção. A adubação de base foi realizada a lanço conforme a necessidade da cultura, informada pela análise de solo.

As cultivares de arroz utilizadas em ambos os estudos foram semeadas no dia 24/11/2010 com a utilização de semeadora de nove linhas, em densidade de sementes de 103kg ha<sup>-1</sup>, o que proporcionou população final de, aproximadamente, 380 plantas de arroz m<sup>-2</sup>. A emergência da cultura ocorreu no dia 03/12/2010. A adubação nitrogenada em cobertura (72kg N ha<sup>-1</sup>) foi parcelada em duas épocas: metade da dose foi aplicada imediatamente antes da irrigação (17/11/2010); e, metade o foi na diferenciação do primórdio floral. A irrigação da área experimental foi realizada no dia 17/11/2010, ou seja, 14 DAE para o estudo 1 e conforme os níveis do tratamento irrigação para o estudo 2.

O controle dos indivíduos excedentes das populações desejadas nos estudos e, também, de outras plantas daninhas que se estabeleceram nas unidades experimentais, foi realizado por herbicidas, aos sete DAE. Para o controle das espécies da família Poaceae foi utilizado o herbicida Clincher<sup>®</sup> (cyalofop-butyl) na dose de 1,5L ha<sup>-1</sup>, acrescido de Veget Oil<sup>®</sup> na dose de 1L ha<sup>-1</sup>. Para as plantas de ciperáceas excedentes aos níveis populacionais desejados e demais espécies de

folhas largas, foi utilizado o herbicida Basagran<sup>®</sup> 600 (bentazon) na dose de 1,6L ha<sup>-1</sup>, acrescido de óleo mineral Assist<sup>®</sup> na dose de 0,5% v/v. Para assegurar o estabelecimento das populações de *C. esculentus*, as plantas foram protegidas com copos plásticos ou por placas de papel pardo, para que não sofressem o efeito do herbicida bentazon.

Aos 25 DAE avaliou-se a população da planta daninha (PP). Realizou-se a quantificação da PP mediante contagem dos indivíduos presentes em duas áreas de 0,25m<sup>2</sup> (0,5m x 0,5m) em cada unidade experimental. Para determinar a produtividade de grãos, a área útil de cada unidade experimental (3m<sup>2</sup>) foi colhida de acordo com a maturação de cada cultivar, quando o teor de umidade dos grãos atingiu cerca de 22%. Em função do ataque de pássaros chopins (*Molothrus bonariensis*), algumas unidades experimentais tiveram sua área útil reduzida para 1m<sup>2</sup>. Após pesagem dos grãos, foi determinada sua umidade, sendo os pesos corrigidos para teor de 13% de umidade. A partir dos dados de produtividade de grãos calcularam-se as perdas percentuais, em relação às parcelas mantidas sem infestação (testemunha), de acordo com a equação 3, descrita no capítulo II.

As relações entre as perdas percentuais de produtividade do arroz (Pp), em função da variável explicativa população de plantas (PP), foram calculadas separadamente para cada cultivar, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivado da hipérbole retangular, conforme proposto por Cousens (1985) (4, descrita no capítulo II).

O ajuste dos dados ao modelo foi realizado através do procedimento *Proc Nlin* do programa computacional SAS (SAS, 1989). Para este procedimento, foi utilizado o método Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, seja mínima (RATKOWSKY, 1983).

Para o cálculo de nível de dano econômico (NDE) utilizaram-se as estimativas do parâmetro *i*, obtidas a partir da equação 4 (COUSENS, 1985), e a equação adaptada por Lindquist e Kropff (1996):

$$\text{NDE} = [C_c / (P \times R \times (i/100) \times (H/100))] \quad (\text{equação 5})$$

onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m<sup>-2</sup>); C<sub>c</sub> = custo de controle (herbicida e aplicação, em dólares ha<sup>-1</sup>); P = preço do arroz (dólares kg<sup>-1</sup>de grãos);

$R$  = produtividade de grãos de arroz ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $i$  = perda (%) de produtividade do arroz por unidade de planta daninha quando o nível populacional se aproxima de zero e;  $H$  = nível de eficiência do herbicida (%).

Para as variáveis  $C_c$ ,  $P$ ,  $R$  e  $H$  (equação 5) foram estimados três valores. Assim, para o custo de controle ( $C_c$ ) considerou-se o valor médio de 54,3 dólares  $\text{ha}^{-1}$  (1,6L  $\text{ha}^{-1}$  do produto comercial Basagran® 600 + óleo mineral Assist® na dose de 0,5% v/v + o custo da aplicação aérea  $\text{ha}^{-1}$  do produto na região de Pelotas/RS no ano agrícola 2010/11), sendo os custos mínimos e máximos alterados em  $\pm 30\%$  em relação ao custo médio. Os preços ( $P$ ) foram obtidos a partir do menor (US\$ 7,50) do médio (US\$ 12,40) e do maior valor (US\$ 21,00) pagos pela saca de 50kg de arroz em casca no RS nos últimos 7 anos (IRGA, 2011a). A produtividade de arroz ( $R$ ) baseou-se na menor (5.630  $\text{kg ha}^{-1}$ ), na média (6.665  $\text{kg ha}^{-1}$ ) e na maior produtividade de arroz (7.700  $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtidas no RS nos últimos 10 anos (CONAB 2011; IRGA, 2011b). Os valores de eficiência de controle do herbicida ( $H$ ) foram estabelecidos na ordem de 80, 90 e 100% de controle, sendo 80% o nível mínimo aceitável de controle da planta daninha promovido pelo herbicida (SOSBAI, 2010).

Para os cálculos dos NDE dos estudos 1 e 2, foram utilizados os valores intermediários das variáveis referentes à equação 5 que não eram alvo do cálculo.

### 4.3 Resultados e discussão

Em função do melhor ajuste dos dados ao modelo hiperbólico (Capítulo II), a variável população de *Cyperus esculentus* (PP) foi utilizada para calcular os NDE nas diferentes simulações (Tabela 4). Comparando-se a habilidade competitiva das cultivares de arroz de diferentes ciclos vegetativos com *C. esculentus* (estudo 1) e, tendo por base o parâmetro  $i$  (SWINTON et al., 1994), constata-se que a cultivar BRS Querência (ciclo curto) apresentou maior habilidade competitiva do que a IRGA 424 (ciclo médio), independente da variável explicativa usada para o cálculo do NDE (Figuras 15, 16, 17 e 18).

Cultivares de ciclo curto, como BRS Querência, possuem mais rápido desenvolvimento inicial e acúmulo de área foliar e, por isso, interceptam mais habilmente a luz, diminuindo a incidência da energia solar aos seus vizinhos (FLECK et al., 2003b). Um rápido desenvolvimento inicial pela cultivar BRS Querência possivelmente favoreceu maior interceptação da luz solar, incrementando sua

habilidade competitiva frente à presença de *C. esculentus*. Dessa forma, cultivares que apresentam, dentre outras, essa característica, geralmente mostram-se competidores mais hábeis (BALBINOT JR. et al., 2003).

Tabela 4. Perda de produtividade de grãos de arroz irrigado em função da população de *Cyperus esculentus* ( $m^{-2}$ ) aos 25 dias após a emergência da cultura (DAE) e de duas cultivares de arroz de diferentes ciclos vegetativos, IFSul, Campus CAVG, Pelotas-RS, 2010/11

Cultivares	Ciclo	Perda de produtividade (%) <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	F*	QMR
BRS Querência	Curto	$(0,52.X)[1+(0,52/100).X]$	0,90	461,85	1086,2
IRGA 424	Médio	$(0,78.X)[1+(0,78/100).X]$	0,92	781,91	806,4

<sup>1</sup> Valor obtido através do modelo de regressão da hipérbole retangular (COUSENS, 1985).

\* Significativo a 5% de probabilidade. QMR: Quadrado médio do resíduo.

A habilidade competitiva de cultivares de arroz pode ser influenciada por características intrínsecas a cada uma delas; mas bastante, variável entre os genótipos (BALBINOT JR. et al., 2003; FLECK et al., 2004). Por consequência, o manejo, principalmente químico, pode ser racionalizado para controlar plantas daninhas, em função da maior habilidade competitiva comandada por essas características intrínsecas, diminuindo assim, possíveis impactos ambientais e econômicos provindos de seu uso (AGOSTINETTO et al., 2007; GALON et al., 2007).

Os valores de NDE, para as duas cultivares pertencentes ao estudo, variaram de 2,8 a 11,6 plantas de *C. esculentus*  $m^{-2}$ , em função do ciclo vegetativo. Tais valores foram obtidos quando da simulação do preço pago ao produto colhido (Figura 16), o que decorre da grande variação de preços pagos nas últimas sete safras (IRGA, 2011a).

Avaliando separadamente cada variável, na média das duas cultivares, observou-se para a variável custo de controle variação de cerca de 87% nos NDE (Figura 15). Para capim-arroz, a variação dos NDE, na média das cultivares IRGA 417 (ciclo curto) e BRS Fronteira (ciclo médio), foi de aproximadamente 67%, considerando a mesma variável (GALON et al., 2007).

Variações na ordem de 180% no NDE foram obtidas para a variável preço pago pelo arroz (Figura 16). Para a mesma variável, variações de cerca de 87% nos NDE foram observados para a média das cultivares IRGA 417 (ciclo curto) e BR-

IRGA 409 (ciclo médio) em competição com a cultivar simuladora de arroz-vermelho EEA 406, quando espaçadas a 15cm (AGOSTINETTO et al., 2005). Também para a mesma variável, os NDE variaram em média 135% para as cultivares IRGA 417 e BRS Fronteira (ciclo médio), quando em competição com capim-arroz (GALON et al., 2007).

Os NDE para a variável produtividade variaram cerca de 37%, na média das duas cultivares testadas (Figura 17). Para capim-arroz, houve uma variação de aproximadamente 50% para a média das cultivares IRGA 417 e BRS Fronteira para a mesma variável (GALON et al., 2007). Já para a cultivar simuladora de arroz vermelho EEA 406, os NDE variaram cerca de 127% para a média das cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 409, considerando a produtividade e o espaçamento de 15cm entrelinhas (AGOSTINETTO et al., 2005).

Considerando a variável eficiência do herbicida, se pôde observar variação de cerca de 25% nos NDE, para a média das cultivares testadas (Figura 18). Variações idênticas para a mesma variável foram observadas nos NDE de capim-arroz para a média das cultivares IRGA 417 e BRS Fronteira (GALON et al., 2007). Para essa variável, os NDE da cultivar simuladora de arroz-vermelho EEA 406 variaram cerca de 29% para a média das cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 409, quando essas estavam espaçadas a 15cm (AGOSTINETTO et al., 2005).

É importante perceber, considerando os fatores que determinam os valores de NDE (Figuras 15, 16, 17 e 18), que esses variam entre 5,4 e 9,2, nas médias, para a cultivar de arroz BRS Querência, e de 3,6 a 6,2, na média, para cultivar de arroz IRGA 424. Assim, nessa última, os valores de NDE foram aproximadamente 33% inferiores aos NDE simulados para BRS Querência, o que torna o controle de *C. esculentus*, nessa cultivar, maior prioridade.

Assim, considerando as variáveis estudadas, as simulações mostraram que quanto maiores forem o valor pago pelo arroz, a produtividade de grãos e a eficiência do controle pelo herbicida, menores serão os NDE e mais compensatória será a adoção precoce do controle de *C. esculentus*. Ao contrário, para maior custo do controle de *C. esculentus*, maiores serão os NDE, permitindo atrasar a decisão de aplicação de medida de controle.

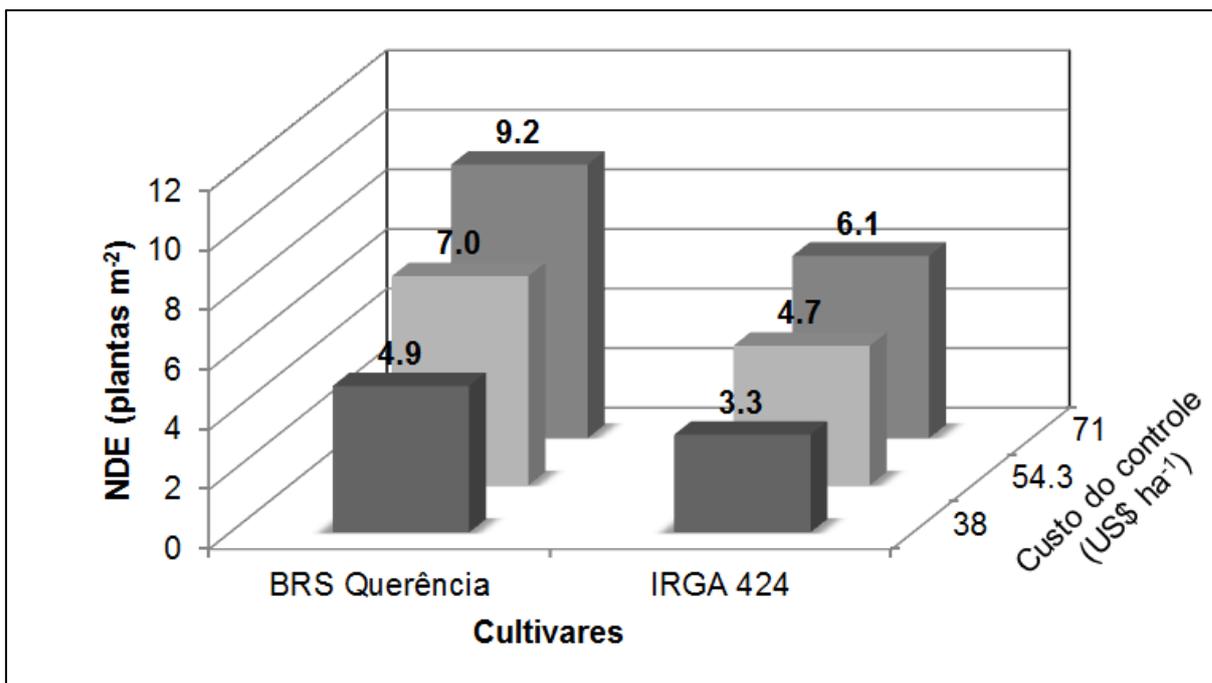


Figura 15 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para duas cultivares de arroz irrigado em função do custo de controle de *C. esculentus*. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

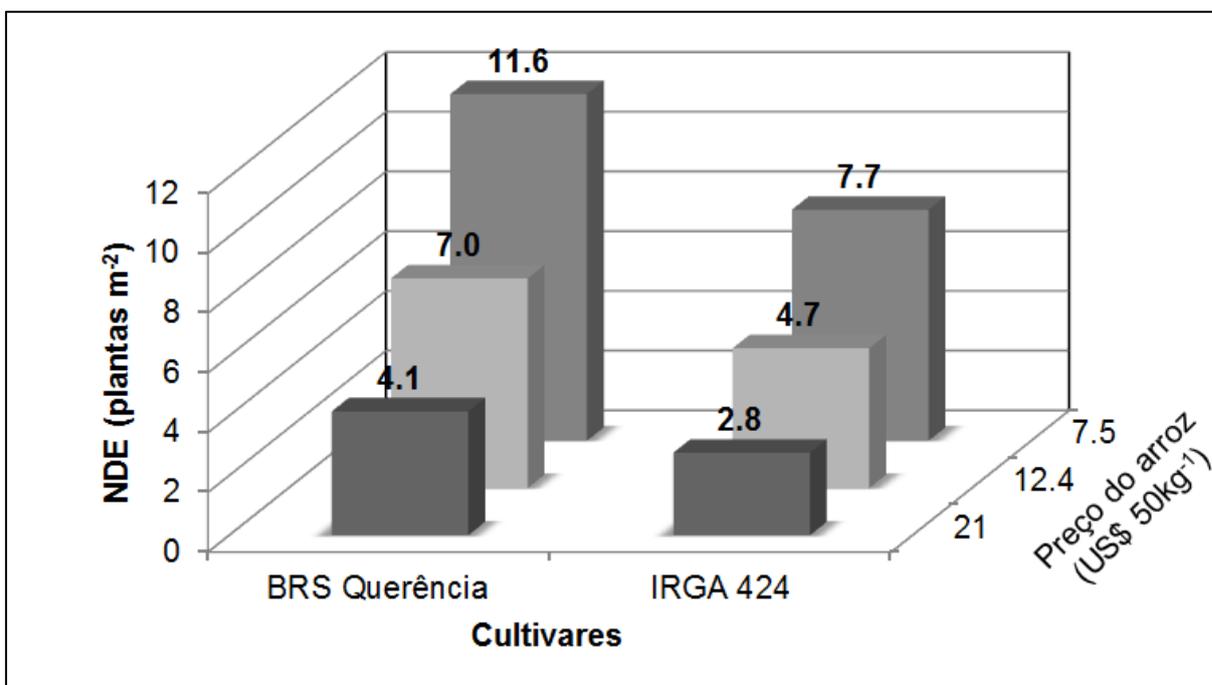


Figura 16 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para duas cultivares de arroz irrigado em função do preço pago pela saca de 50kg arroz em casca. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

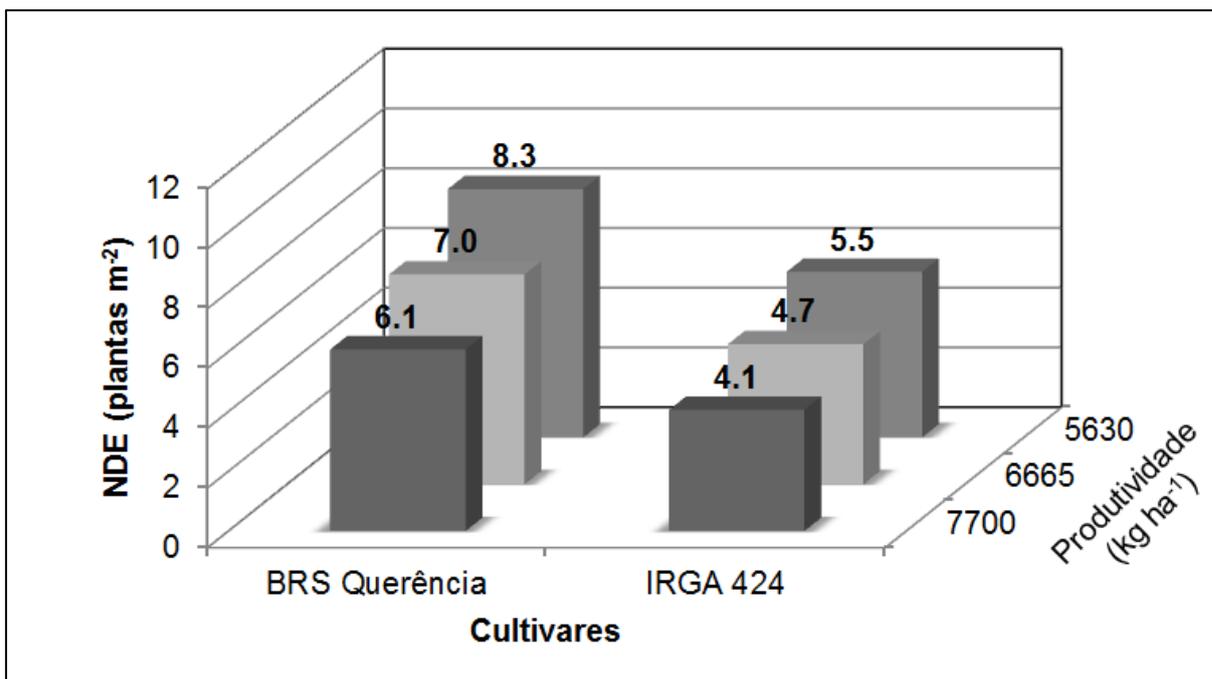


Figura 17 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para duas cultivares de arroz irrigado em função da produtividade de grãos. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

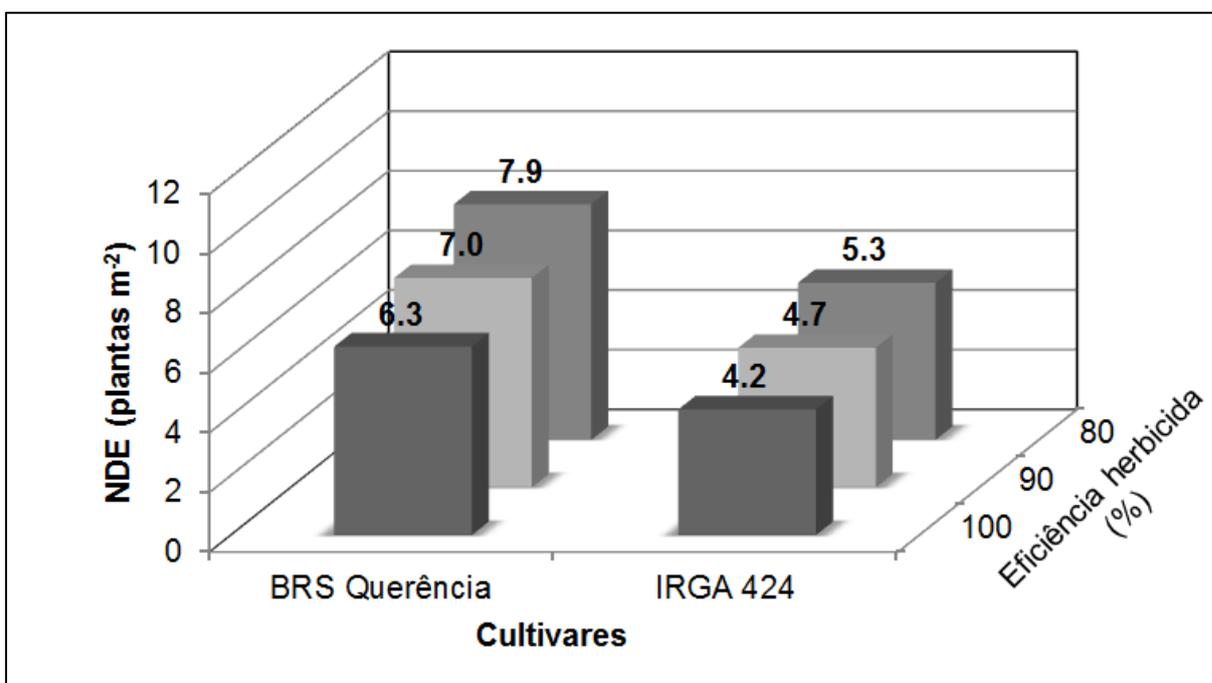


Figura 18 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para duas cultivares de arroz irrigado em função da eficiência do controle herbicida. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

Avaliando-se conjuntamente as variáveis, nas médias das cultivares, houve variação de 49% nos NDE entre essas (Figuras 15, 16, 17 e 18). De forma semelhante, cultivares de arroz de ciclo curto foram mais hábeis competidoras, quando comparadas com cultivares de arroz de ciclo médio (AGOSTINETTO et al., 2005; GALON et al., 2007). Dessa forma, o manejo de *C. esculentus* pelo controle químico, deve ser diferenciado em função do potencial competidor da cultivar, acarretando reflexos no custo total de produção e no impacto ambiental pelo uso de herbicidas. A busca de redução do uso de herbicidas ou sua utilização de forma racional tende a minimizar o reflexo indesejável de seus impactos (RIZZARDI; FLECK, 2004). Nesse mesmo sentido, a competição exercida por cultivares mais hábeis pode minimizar a pressão de seleção promovida pelo uso de herbicidas, processo esse que tende a favorecer o aparecimento de indivíduos resistentes aos herbicidas em populações de plantas daninhas.

Para o estudo 2, referente ao manejo diferenciado da irrigação, os valores do parâmetro  $i$ , obtidos pelo modelo de regressão da hipérbole retangular, foram de 0,45 e 0,88, quando a irrigação foi realizada aos 14 ou 21 DAE, respectivamente (Tabela 5). O atraso da irrigação dos 14 para os 21 DAE proporcionou aumento de cerca de 95% no parâmetro  $i$ , demonstrando que houve decréscimo na habilidade competitiva da cultivar, frente à competição, com o atraso da irrigação. A lâmina d'água é importante ferramenta, dentro do manejo integrado de plantas daninhas, pois, além de favorecer a ação de herbicidas (ANDRES et al., 2007), atua como barreira física contra a emergência de novos fluxos de infestantes (ANDRES; MACHADO, 2004; CONCENÇO et al., 2006; AGOSTINETTO et al., 2011).

Os NDE do segundo estudo variaram de 4,8 a 13,4, considerando-se o início da irrigação aos 14 DAE e de 2,5 a 6,9 quando a irrigação iniciou apenas aos 21 DAE. Para todas as simulações efetuadas, foi possível perceber que ocorreu diminuição dos NDE quando a irrigação foi atrasada em sete dias (Figuras 19, 20, 21 e 22).

Como médias dos fatores determinantes dos NDE, esses variaram de 6,2 a 10,7 para a irrigação iniciada aos 14 DAE e de 3,2 a 5,5 plantas de *C. esculentus* para a irrigação mais tardia (21 DAE). Assim, os níveis para irrigação principiada aos 21 DAE foram 42% inferiores àqueles obtidos para a irrigação mais precoce, conseqüentemente, irrigação aos 21 DAE torna mais urgente à aplicação de medidas de controle de *C. esculentus*.

Tabela 5. Perda de produtividade de grãos de arroz irrigado em função de populações de *Cyperus esculentus* (m<sup>-2</sup>) aos 25 DAE, e de duas épocas de início de irrigação, IFSul, Campus CAVG, Pelotas-RS, 2010/11

Irrigação (DAE <sup>1</sup> )	Perda de produtividade (%) <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	F*	QMR
14	$(0,45.X)[1+(0,45/100).X]$	0,95	728,57	218,3
21	$(0,88.X)[1+(0,88/100).X]$	0,90	1077,71	720,9

<sup>1</sup> Dias após a emergência. <sup>2</sup> Valor obtido através do modelo de regressão da hipérbole retangular (COUSENS, 1985). \* Significativo a 5% de probabilidade. QMR: quadrado médio do resíduo.

Analisando-se individualmente as variáveis simuladas, para a média das duas épocas de irrigação (14 e 21 DAE), se observou, para a variável custo de controle, variação dos NDE de 87% para a média das duas épocas de irrigação (Figura 19). Para a mesma variável, os NDE de capim-arroz em competição com a cultivar BRS Pelota variaram cerca de 68%, na média das três épocas de irrigação (GALON, 2007).

A maior variação dos NDE (180%) foi observada, similarmente ao estudo 1, para a variável preço pago pelo arroz (Figura 20). Os NDE de capim-arroz em competição com a cultivar BRS Pelota variaram de cerca de 133% na média de três épocas de irrigação: 1; 10; e, 20 DAT para a mesma variável (GALON, 2007).

Para a variável produtividade de arroz, variações da ordem de 37% foram observadas para a média das duas épocas de irrigação (Figura 21). Os NDE de capim-arroz variaram cerca de 50% aos considerar-se o potencial produtivo da cultivar BRS Pelota na média de três épocas de irrigação (GALON, 2007).

A eficiência de controle do herbicida também promoveu variações nos NDE de *C. esculentus* na cultivar de arroz BRS Querência. Variações de 25% foram observadas para essa variável na média das duas épocas de irrigação (Figura 22). A eficiência de controle do herbicida cyalofop-butyl promoveu variações similares nos NDE de capim-arroz na cultivar BRS Pelota, para a média de três épocas de irrigação da cultura (GALON, 2007).

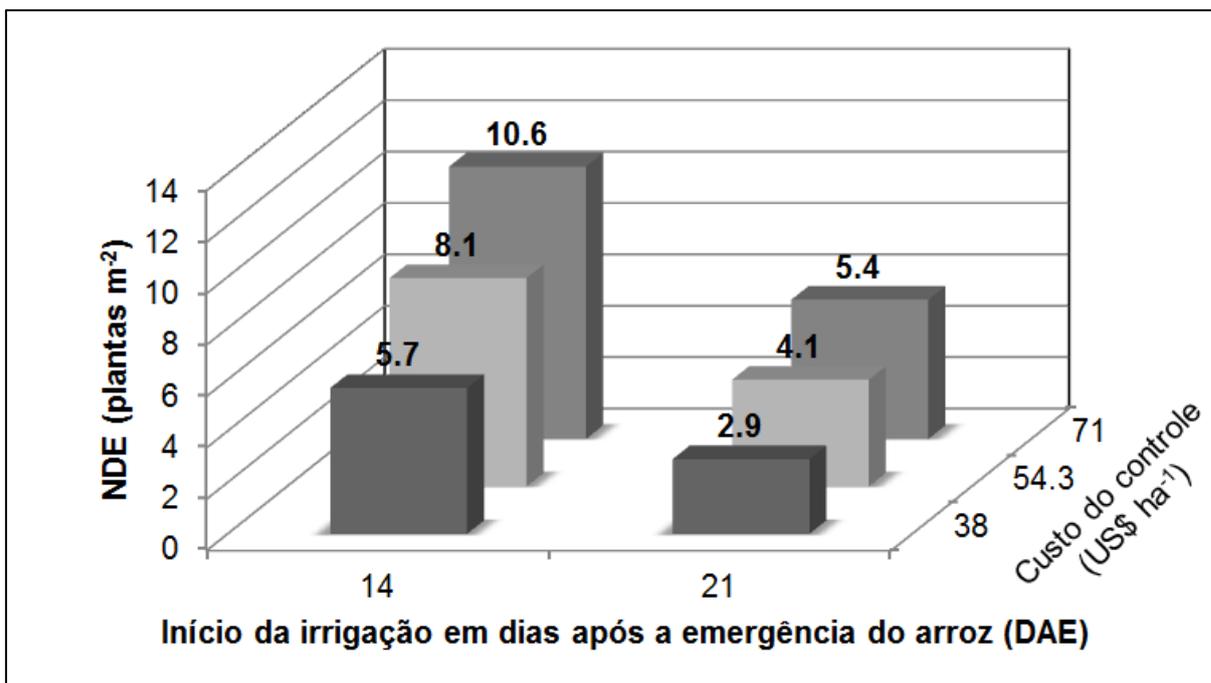


Figura 19 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função do custo de controle de *C. esculentus* e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

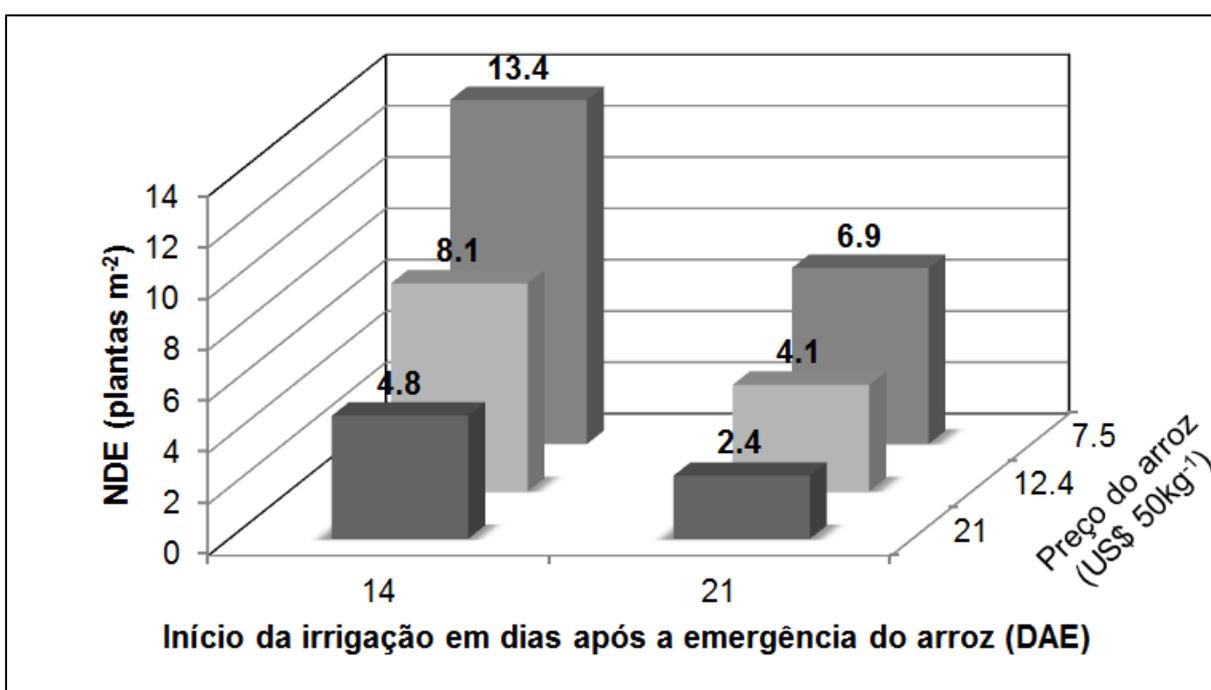


Figura 20 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função do preço pago pela saca de 50kg arroz em casca e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

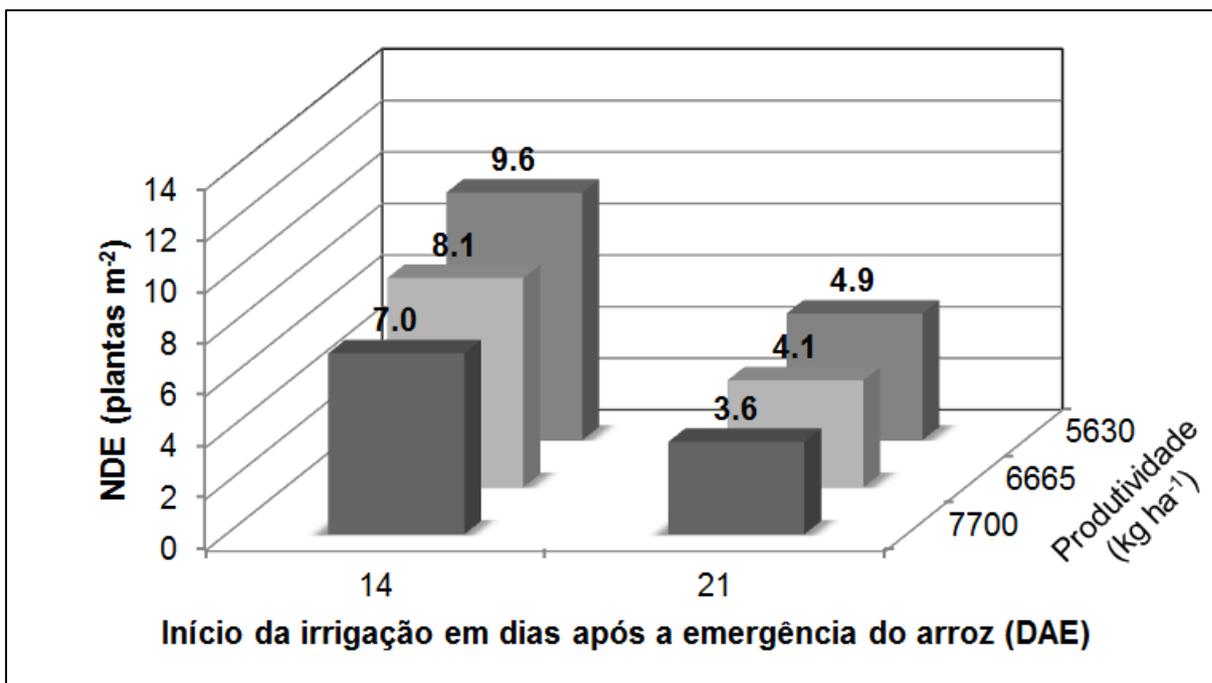


Figura 21 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função da produtividade de grãos e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

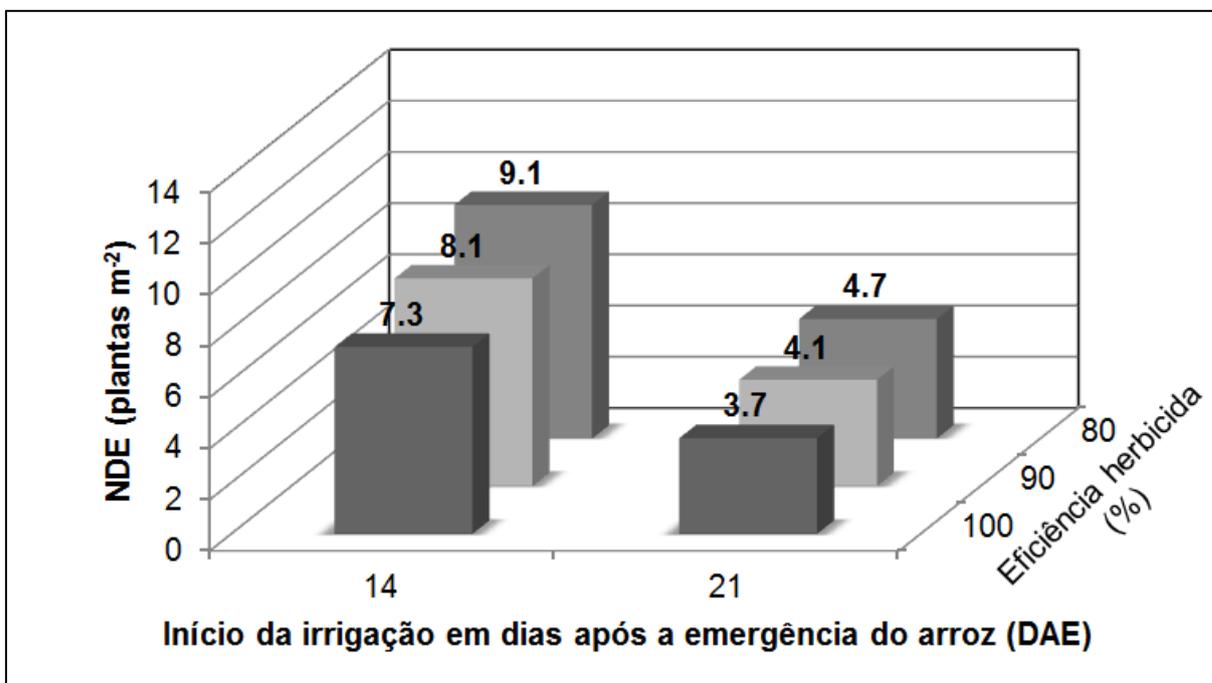


Figura 22 - Níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* para a cultivar de arroz irrigado BRS Querência em função da eficiência de controle do herbicida e de épocas de irrigação. IFSul/CAVG, Pelotas-RS, 2010/11.

Considerando-se os valores médios dos NDE para as variáveis testadas, em cada uma das épocas de irrigação, a simulação mostrou que ocorreu redução de

cerca 95% da primeira para a segunda época de irrigação, independente da variável analisada (Figuras 19, 20, 21 e 22). Assim, percebe-se que, o atraso de sete dias na irrigação, causou diminuição do potencial competidor da cultivar BRS Querência. Em consequência, houve diminuição do NDE de *C. esculentus* na cultura, justificando que o controle seja mais precoce. Também, ocorreram reduções de produtividade da ordem de 17 e 19% para a cultivar Qualimax 1, quando essa competiu com *C. esculentus* e *Echinochloa* spp. e a irrigação foi atrasada de 1 para 15 e 30 DAT, respectivamente, mesmo quando o herbicida penoxsulam foi aplicado precocemente (AGOSTINETTO et al., 2011).

O atraso na irrigação pode proporcionar, além da redução nos componentes de produtividade da cultura (AGOSTINETTO et al., 2011), a possibilidade de emergência de novos fluxos de plantas daninhas, aumentando assim a sobreposição do nicho competitivo entre as espécies (RADOSEVICH et al., 2007). Desse modo, práticas de manejo, como a antecipação da irrigação, podem ser estratégias mais sustentáveis sob as óticas ambiental, econômica, de proteção e longevidade das moléculas herbicidas e de manejo integrado das plantas daninhas.

Ao analisar conjuntamente os resultados dos dois estudos e considerando os valores intermediários de cada variável estudada, a ordem decrescente de grandeza dos NDE de *C. esculentus* que darão suporte à tomada de decisão de controle são: preço pago pelo arroz > custo de controle da planta daninha > produtividade de grãos da cultura > eficiência de controle do herbicida. Portanto, pode-se inferir que, para as condições estudadas, o preço pago pelo arroz representou maior impacto na tomada de decisão de controle e a eficiência de controle propiciada pelo herbicida, impacto menor. Porém, as variáveis preço pago pelo produto e custo de controle, são difíceis de ser alteradas pelos produtores, cabendo a eles prover práticas de manejo adequadas para que a produtividade e a eficiência de controle promovida pelo herbicida sejam maximizadas.

Outros estudos colocaram a produtividade de grãos de arroz à frente das outras variáveis analisadas (AGOSTINETTO et al., 2005; GALON et al., 2007). Porém, em função da melhora nos índices de produtividade da cultura no RS na última década (IRGA, 2011b), associada à variação nos custos de controle da planta daninha, para a simulação realizada, a produtividade de grãos teve sua importância minimizada.

Algumas críticas costumam ser feitas à utilização de NDE como medida válida para a tomada de decisão de controle das plantas daninhas, com base num único ano agrícola. Dentre as principais críticas feitas incluem-se: dificuldade de elaborar metodologias fáceis e baratas para quantificar os efeitos competitivos das plantas daninhas sobre as culturas, impacto de fatores ambientais na interação das plantas daninhas e culturas em diferentes locais e anos e principalmente, ocorrência simultânea de mais de uma espécie daninha associada à cultura (KROPFF; SPITTERS, 1991; SWINTON et al., 1994). Por outro lado, os NDE podem representar importante ferramenta de apoio à tomada de decisão de controle das plantas daninhas, desde que sua utilização esteja sempre associada com outras práticas culturais, como: rotação de culturas, manejo precoce da irrigação e utilização de cultivares competitivas (GALON et al., 2007).

#### **4.4 Conclusões**

Os níveis de dano econômico (NDE) de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado variam em função da habilidade competitiva da cultivar de arroz utilizada e da época de irrigação da lavoura de arroz.

A utilização da cultivar de arroz de ciclo curto, BRS Querência, aumenta os NDE quando comparada à utilização da cultivar IRGA 424, de ciclo médio.

A antecipação do início da irrigação, dos 21 para os 14 dias após a emergência da cultura, aumenta os NDE da planta daninha na cultura do arroz, tornando mais flexível o controle de *Cyperus esculentus*.

Os aumentos da produtividade de grãos, do preço pago pelo arroz e da eficiência de controle promovido pelo herbicida e a diminuição do custo de controle da planta daninha, promovem uma redução nos NDE de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado, justificando adoção de medidas de controle sob menor população da planta daninha.

## 5 Conclusões

As cultivares de arroz estudadas, em geral, demonstram valor adaptativo equivalente e habilidade competitiva superior que a planta daninha *Cyperus esculentus*.

Para a cultura do arroz, o componente intraespecífico da competição predomina, enquanto para *Cyperus esculentus* o componente interespecífico é o mais importante.

O menor ciclo de desenvolvimento da cultivar de arroz BRS Querência, comparativamente a cultivar de arroz IRGA 424, bem como a antecipação do início da irrigação dos 21 para os 14 dias após a emergência da cultura, incrementam a habilidade competitiva da cultura com *Cyperus esculentus*.

O modelo de regressão derivado da hipérbole retangular estima adequadamente as perdas de produtividade da cultura do arroz, tanto em função do ciclo vegetativo das cultivares, quanto da época de início da irrigação.

A variável população da planta daninha foi a que melhor se ajustou ao modelo da hipérbole retangular, embora a variável massa da matéria seca da parte aérea também possa ser utilizada para estimar perdas de produtividade na cultura do arroz quando em competição com *Cyperus esculentus*.

A planta daninha mostrou-se pouco competitiva com a cultura arroz, sendo necessário no mínimo quatro indivíduos  $m^{-2}$ , considerando a variável população de plantas, em função do ciclo das cultivares e época de irrigação da cultura, para que o controle se justifique.

A presença de uma planta de *Cyperus esculentus*  $m^{-2}$  causa perdas de produtividade da cultura que variam de 0,52 a 0,78% para as cultivares BRS Querência e IRGA 424, respectivamente, enquanto a antecipação da irrigação dos 21 para os 14 DAE alteram as perdas unitárias de produtividade da cultura de 0,88 para 0,45%, respectivamente.

Os níveis de dano econômico (NDE) de *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado variam de 2,7 a 11,6 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup> em função da cultivar de arroz utilizada e, de 2,4 a 13,4 plantas de *C. esculentus* m<sup>-2</sup> em função do manejo de início da irrigação da lavoura.

A utilização da cultivar de ciclo curto BRS Querência e a irrigação aos 14 dias após a emergência, aumentam os NDE quando comparadas com a utilização da cultivar de ciclo médio IRGA 424 e a irrigação aos 21 dias, respectivamente.

Os aumentos de produtividade de grãos, do preço pago pelo produto colhido, da eficiência do controle herbicida e a diminuição do custo de controle da planta daninha, promovem redução nos NDE de *C. esculentus* na cultura do arroz irrigado, sendo que as medidas de controle tornam-se justificadas em menor população da planta daninha.

## 6 Referências

ADATI, C.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Análise matemática e biológica dos modelos de estimativa de perdas de produtividade na cultura devido à interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n.1, p.1-12, 2006.

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

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

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; MEROTTO JR, A.; VIDAL, R. A. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v.31, n.2, p.341-349, 2001.

AGOSTINETTO, D.; GALON, L. Nível crítico de dano (NCD) de infestantes na cultura do arroz irrigado. In: VIDAL, R. A.; PORTUGAL, J.; SKORA NETO, F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.20-31.

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

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

AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SILVA, J. M. B. V.; TIRONI, S. P.; ANDRES, A. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v.28, n.spe, p.993-1003, 2010.

AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; MORAES, P. V. D.; DAL MAGRO, T.; TAROUCO, C. P.; OLIVEIRA, C.; RUBIN, R. Épocas de aplicação de penoxsulam e de início da irrigação no arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.29, n.2, p.405-412, 2011.

ALCÂNTARA, E. N. Controle de plantas daninhas na cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, v.14, n.161, p.40-44, 1999.

ANDRES, A.; FREITAS, G. D.; CONCENÇO, G.; MELO, P. T. B. S.; FERREIRA, F. A. Desempenho da cultivar de arroz BRS Pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) submetidos a quatro épocas de entrada de água após a aplicação de doses reduzidas de herbicidas. **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.859-867, 2007.

ANDRES, A.; MACHADO, S. L. O. Plantas daninhas em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR., A. M. (Eds.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 457-546.

ASKEW, S. D.; WILCUT, J. W. Tropic croton interference in cotton. **Weed Science**, v.49, n.2, p.184-189, 2001.

BALBINOT JR., A. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M. A.; MEROTTO JR., A.; VIDAL, R.A. Velocidade de emergência e crescimento inicial de cultivares de arroz irrigado influenciando a competitividade com as plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.305-316, 2001.

BALBINOT JR., A. A.; FLECK, N. G.; BARBOSA NETO, J. F.; RIZZARDI, M. A. Características de plantas de arroz e a habilidade competitiva com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.165-174, 2003.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – Dólar americano. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>> Acesso em: 15 nov. 2011.

BARROSO, J.; ALCANTARA, C.; SAAVEDRA, M. Competition between *Avena sterilis* spp. *sterilis* and wheat in South Western Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.9, n.3, p.862-872, 2011.

BAUER, T. A.; MORTENSEN, D. A. A comparison of economic and economic optimum thresholds for two annual weeds in soybeans. **Weed Technology**, v.6, n.1, p.228-235, 1992.

BERKOWITZ, A. R. Competition for resources in weed crop mixtures. In: ALTIERI, M.A.; LIEBMAN, M. (Eds.) **Weed management in agroecosystems: ecological approaches**. Boca Raton: CRC Press, 1988. p.89-120.

BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. **Ciência Rural**, v.36, n.5, p.1380-1387, 2006.

BUZSÁKI, K.; KAZINCZI, G.; BÉRES, I.; LEHOCZKY, E. The allelopathic effect of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) on cultivated plants and common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, Supplement (21), p.327-331, 2008.

CARLESSO, R.; HERNANDEZ, M. G. R.; RIGHES, A. A.; JADOSK, S. O. Índice de área foliar e altura de plantas de arroz submetidas a diferentes práticas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.268-272, 1998.

CARVALHO, S. J. P.; PEREIRA SILVA, R. F.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento, desenvolvimento e produção de sementes da planta daninha capim-branco (*Chloris polydactyla*). **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.603-609, 2005.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTÓRIA FILHO, R. Efeitos da densidade e proporção de plantas de milho (*Zea mays* L.) e caruru (*Amaranthus retroflexus* L.) em competição. **Planta Daninha**, v.14, n.1, p.42-47, 1996.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; WESTRA, P.; MOORE III, F. Growth analysis of sulfonylurea resistant and susceptible kochia (*Kochia scoparia*). **Weed Science**, v.45, n.5, p.691-695, 1997.

COBLE, H. D.; MORTENSEN, D. A. The threshold concept and its application to weed science. **Weed Technology**, v.6, n.1, p.191-195, 1992.

CONAB. Arroz - Brasil. Série histórica de área, produtividade e produção. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 22 set. 2011.

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

CORTÉS, J. A.; MENDIOLA, M. A.; CASTEJÓN, M. Competition of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* M.) weed with cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Economic damage threshold. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.8, n.2, p.391-399, 2010.

COUSENS, R. D. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technology**, v.5, n.3, p.664-667, 1991.

COUSENS, R. D. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. **Journal of Agricultural Sciences**, v.105, n.3, p.513-521, 1985.

COUSENS, R. D.; MOKHTARI, S. Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from *Lolium rigidum*. **Weed Research**, v.38, n.4, p.301-307, 1998.

COUSENS, R. D.; O'NEILL, M. Density dependence of replacement series experiments. **Oikos**, v.66, n.2, p.347-352, 1993.

COUSENS, R. D.; BRAIN, P.; O'DONOVAN, J. T.; O'SULLIVAN, P. A. The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. **Weed Science**, v.35, n.5, p.720-725, 1987.

DAL MAGRO, T.; SCHAEGLER, C. E.; FONTANA, L. C.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Habilidade competitiva entre biótipos de *Cyperus difformis* L. resistente ou suscetível a herbicidas inibidores de ALS e destes com arroz irrigado. **Bragantia**, v.70, n.2, p.294-301, 2011.

DIELEMAN, A.; HAMILL, A. S.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Empirical models of pigweed (*Amaranthus* spp.) interference in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.43, n.4, p.612-618, 1995.

DOMINGOS, V. D.; PASCHOA, P. L.; MARTINS, D.; COSTA, N. V. Alocação de biomassa e nutrientes em *Myriophyllum aquaticum* sob diferentes níveis de macronutrientes. **Planta Daninha**, v.23, n.2, p.193-201, 2005.

DROST, D. C.; DOLL, J. D. The allelopathic effect of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) on corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, v.28, n.2, p.229-233, 1980.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 412 p.

ERASMO, E. A. L.; COSTA, N. V.; PINHEIRO, L. L. A.; SILVA, J. I. C.; TERRA, M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Efeito da densidade e dos períodos de convivência de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.381-386, 2003.

ERASMO, E. A. L.; PINHEIRO, L. L. A.; COSTA, N. V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.195-201, 2004.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food supply (2007). Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609#ancor>>. Acesso em: 23 jan. 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production of cereals and share in world (2010). Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso em: 20 mar. 2012.

FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; FERREIRA, F. A.; NOLDIN, J. A. Crescimento de biótipos de capim-arroz em condição de competição. **Planta Daninha**, v.26, n.4, p.799-805, 2008.

FISCHER, R. A.; MILES, R. E. The role of spatial pattern in the competition between crop plants and weeds: A theoretical analysis. **Mathematical Biosciences**, v.18, n.3-4, p.335-350, 1973.

FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SCHAEGLER, C. E. Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v.26, n.1, p.101-111, 2008.

FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M. A.; BIANCHI, M. A.; MENEZES, V. G. Interferência de plantas concorrentes em arroz irrigado modificada por métodos culturais. **Planta Daninha**, v.22, n.1, p.19-28, 2004.

FLECK, N. G.; BALBINOT JR., A. A.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M. A. Velocidade de estabelecimento em cultivares de arroz irrigado como característica para aumentar a habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Ciência Rural**, v.33, n.4, p.635-640, 2003a.

FLECK, N. G.; BALBINOT JR., A. A.; AGOSTINETTO, D.; VIDAL, R. A. Características de plantas de cultivares de arroz irrigado relacionadas à habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Planta daninha**, v.21, n.1, p.97-104. 2003b.

FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D.; Dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guaxuma em soja. **Planta Daninha**, v.20, n.3, p.421-429, 2002.

GALON, L.; AGOSTINETTO, D.; MORAES, P. V. D.; DAL MAGRO, T.; PANOZZO, L. E.; BRANDOLT, R. R.; SANTOS, L. S. Níveis de dano econômico para decisão de controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) em arroz irrigado (*Oryza sativa*). **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.709-718, 2007.

GALON, Leandro. **Utilização de modelos matemáticos para estimar a interferência e determinar o nível de dano econômico de capim-arroz em arroz irrigado**. 2007. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências). – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

GIBSON, D. J.; CONNOLLY, J.; HARTNETT, D. C.; WEIDENHAMER, D. Designs for greenhouse studies of interactions between plants. **Journal of Ecology**, v.87, n.1, p.1-16, 1999.

HAZRA, D.; DAS, T. K.; YADURAJU, N. T. Interference and economic threshold of horse purslane (*Trianthema portulacastrum*) in soybean cultivation in northern India. **Weed Biology and Management**, v.11, n.2, p.72–82, 2011.

HOFFMAN, M. L.; BUHLER, D. D. Utilizing *Sorghum* as a functional model of crop-weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. **Weed Science**, v.50, n.4, p.466-472, 2002.

IRGA – Instituto Rio-grandense do Arroz – Preços do arroz. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1321039486Precos\\_do\\_Arroz.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1321039486Precos_do_Arroz.pdf)>  
Acesso em: 15 nov. 2011a.

IRGA – Instituto Rio-grandense do Arroz – Séries históricas. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/uploads/1318871736PRODARRS\\_serie\\_historica.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/1318871736PRODARRS_serie_historica.pdf) > Acesso em: 25 set. 2011b.

JUNG, H. I.; KUK, Y. I.; KIM, H. Y.; BACK, K.; LEE, D. J.; LEE, S.; BURGOS, N. R. Resistance levels and fitness of protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistant transgenic rice in paddy fields. **Field Crops Research**, v.115, n.2, p.125-131, 2010.

KALSING, A.; VIDAL, R. A. Nível de dano econômico aplicado à herbologia: revisão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.20, n.1, p.43-56, 2010.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. Tomo I. 3ª ed. São Paulo: Basf Brasileira S. A., 2007. CD-ROM.

KNEZEVIC, S. Z.; HORAK, M. J.; VANDERLIP, R. L. Estimative of physiological determinants for *Amaranthus retroflexus*. **Weed Science**, v.47, n.3, p.291-296, 1999.

KNEZEVIC, S. Z.; HORAK, M. J.; VANDERLIP, R. L. Relative time of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) emergence is critical in pigweed-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] competition. **Weed Science**, v.45, n.4, p.502-508, 1997.

KROPFF, M. J.; LOTZ, L. A. P. Optimization of weed management systems: the role of ecological models of interplant competition. **Weed Technology**, v.6, n.2, p.462-470, 1992.

KROPFF, M. J.; SPITTERS, C. J. T. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of weeds. **Weed Research**, v.31, n.2, p.97-105, 1991.

LAMEGO, F. P.; FLECK, N. G., BIANCHI, M. A.; SCHAEGLER, C. E. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja - II. Resposta de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**, v.22, n.4, p.491-498, 2004.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A.; BURGOS, N. R. Competitiveness of ALS inhibitors resistant and susceptible biotypes of greater beggarticks (*Bidens subalternans*). **Planta Daninha**, v.29, n.2, p.457-464, 2011.

LINDQUIST, J. L.; KROPFF, M. J. Applications of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*) - *Echinochloa* competition. **Weed Science**, v.44, n.1, p.52-56, 1996.

LUTMAN, P. J. W.; RISIOTT, R.; OSTERMANN, H. P. Investigations into alternative methods to predict the competitive effects of weeds on crop yields. **Weed Science**, v.44, n.2, p.290-297, 1996.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; FIALHO, C. M. T.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, M. S. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.641-647, 2006.

MARCHESAN, E.; SANTOS, F. M.; GROHS, M.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O.; SENSEMAN, S. A.; MASSONI, P. F. S.; SARTORI, G. M. S. Carryover of imazethapyr and imazapic to nontolerant rice. **Weed Technology**, v.24, n.1, p.6-10, 2010.

MORTENSEN D. A.; BASTIAANS, L.; SATTIN, M. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. **Weed Research**, v.40, n.1, p.49-62, 2000.

NI, H.; MOODY, K.; ROBLES, R. P. *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. **Weed Science**, v.48, n.2, p.200-204, 2000.

NOHATTO, Marcos André. **Resposta de *Euphorbia heterophylla* proveniente de lavouras de soja Roundup Ready® do Rio Grande do Sul ao herbicida glyphosate**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências). – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PANOZZO, L. E.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; MORAES, P. V. D.; PINTO, J. J. O.; NEVES, R. Métodos de manejo de *Cyperus esculentus* na lavoura de arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.27, n.1, p.165-174, 2009.

PASSINI, T.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DOURADO NETO, D. Modelos empíricos de predição de perdas de rendimento da cultura de feijão em convivência com *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.181-187, 2002.

PASSINI, Telma. **Competitividade e predição de perdas de produtividade da cultura de feijão quando em convivência com *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.** 2001. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

PORTUGAL, J. M.; MOREIRA, I. Impacto da erva-moira na produção do tomateiro e ajuste de modelos matemáticos. **Planta Daninha**, v.27, n.spe, p.901-911, 2009.

PORTUGAL, J. M.; VIDAL, R. A. Níveis econômicos de prejuízos de plantas infestantes nas culturas agrícolas: conceitos, definições e formas de cálculo. **Planta Daninha**, v. 27, n.4, p. 869-877, 2009.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Ecology of weeds and invasive plants: Relationship to agriculture and natural resource management**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 2007. 454 p.

RADOSEVICH, S.R. Methods to study interactions among crops and weeds. **Weed Technology**, v.1, n.3, p.190-198, 1987.

RATKOWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling**: a unified practical approach. New York: Marcel Dekker, 1983. p.135-154.

RIGOLI, R. P.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C. E.; DAL MAGRO, T.; TIRONI, S. Habilidade competitiva relativa do trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). **Planta Daninha**, v.26, n.1, p.93-100, 2008.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G. Métodos de quantificação da cobertura foliar da infestação de plantas daninhas e da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.13-18, 2004.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D. Nível de dano econômico como critério para controle de picão-preto em soja. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.273-282, 2003b.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; RIBOLDI, J.; AGOSTINETTO, D. Ajuste de modelo para quantificar o efeito de plantas daninhas e época de semeadura no rendimento de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.35-43, 2003a.

ROUSH, M. L.; RADOSEVICH, S. R.; WAGNER, R. G.; MAXWELL, B. D.; PETERSEN, T. D. A comparison of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments. **Weed Science**, v.37, n.2, p.268-275, 1989.

SAS – Institute Statistical Analysis System. **User's guide**. Version 6. 4.ed. North Caroline: SAS Institute, 1989. 846p.

SCHAEGLER, Carlos Eduardo. **Resistência de *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl aos herbicidas inibidores da enzima ALS**. 2011. 126f. Tese (Doutorado em Fitossanidade) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SIGMAPLOT – **Scientific graphing software**. Version 10.0, 2007.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.525-543.

SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 188p.

SWINTON, S. M.; BUHLER, D. D.; FORCELLA, F.; GUNSOLUS, J. L.; KING, R. P. Estimation of crop yield loss due to interference by multiple weed species. **Weed Science**, v.42, n.1, p.103-109, 1994.

- TIRONI, S. P.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; NOLDIN, J. A. Habilidade competitiva de plantas de arroz com biótipos de capim-arroz resistente ou suscetível ao quinclorac. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p.257-263, 2009.
- TUFFI SANTOS, L. D.; SANTOS, I. C.; OLIVEIRA, C. H.; SANTOS, M. V.; FERREIRA, F. A.; QUEIROZ, D. Levantamento fitossociológico em pastagens degradadas sob condições de várzea. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p.343-349, 2004.
- VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GHEREKHLOO, J. Interferência e nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* e *Ipomoea nil* na cultura do feijão comum. **Ciência Rural**, v.40, n.8, p.1675-1681, 2010.
- VILÁ, M.; WILLIAMSON, M.; LONSDALE, M. Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact? **Biological Invasions**, v.6, n.1, p.59-69, 2004.
- VITTA, J. I.; FERNANDEZ QUINTANILLA, C. Canopy measurements as predictors of weed-crop competition. **Weed Science**, v.44, n.3, p.511-516, 1996.
- YENISH, J. P.; DURGAN, B. R.; MILLER, D. W.; WYSE, D. L. Wheat (*Triticum aestivum*) yield reduction, from common milkweed (*Asclepias syriaca*) competition. **Weed Science**, v.45, n.1, p.127-131, 1997.
- ZANIN, G.; BERTI, A.; TONIOLO, L. Estimation of economic thresholds for weed-control in winter-wheat. **Weed Research**, v.33, n.6, p.459-467, 1993.