

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ÉPOCA DE SEMEADURA DE ARROZ IRRIGADO:
RENDIMENTO DE GRÃOS, CONTROLE DE ARROZ-
VERMELHO, EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E
ESTRESSE OXIDATIVO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**ÉPOCA DE SEMEADURA DE ARROZ IRRIGADO:
RENDIMENTO DE GRÃOS, CONTROLE DE ARROZ-
VERMELHO, EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E ESTRESSE
OXIDATIVO**

Gerson Meneghetti Sarzi Sartori

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sartori , Gerson Meneghetti Sarzi

Época de semeadura de arroz irrigado: rendimento de grãos, controle de arroz-vermelho, eficiência no uso da água e estresse oxidativo / Gerson Meneghetti Sarzi Sartori .-2013.

122 p. ; 30cm

Orientador: Enio Marchesan

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Temperatura 2. Radiação solar 3. Estresses de plantas 4. Controle de planta daninha 5. Oryza sativa I. Marchesan , Enio II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

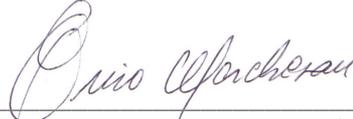
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ÉPOCA DE SEMEADURA DE ARROZ IRRIGADO: RENDIMENTO DE
GRÃOS, CONTROLE DE ARROZ-VERMELHO, EFICIÊNCIA NO USO
DA ÁGUA E ESTRESSE OXIDATIVO**

elaborado por
Gerson Meneghetti Sarzi Sartori

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Comissão Examinadora:



Enio Marchesan, Dr.
(Presidente/Orientador)



Fernando Teixeira Nicoloso, Dr.
(UFSM)



Paulo Régis Ferreira da Silva, Dr.
(UFRGS)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Nilda Meneghetti Sarzi Sartori e Zelci Francisco Sarzi Sartori,
pela vida, pelo amor, pelo apoio e incentivo em todos momentos.

A minha irmã, Renata S.S. Schmitd,
pelo carinho, pela amizade e pelo incentivo.

A minha namorada, Luiza L. Verardo,
pelo amor, pela compreensão e pelo incentivo.

Dedico e ofereço!

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, pois sem ele nada seria possível.

À toda minha família, por todo o apoio, o incentivo e a compreensão nos momentos de ausência, obrigado.

Ao meu orientador, professor Enio Marchesan, pelo exemplo de profissional, e pela orientação, pelos ensinamentos, pela dedicação, pelas oportunidades e pela amizade, muito obrigado.

À minha namorada, pelos incentivos e pela compreensão nos momentos de ausência, obrigado.

Ao bolsista Cristian Fernandes Azevedo, pela amizade e por todo o apoio prestado durante o desenvolvimento do trabalho, obrigado.

Aos colegas de pós-graduação Gustavo M. Teló, Alana C. D. Wandscheer e Guilherme P. Londero, pela troca de experiência e amizade, obrigado.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado Maurício, Lucas, Eduardo, Anelise, Bruno, Felipe, Anderson, Jonas, João e Camile, pela amizade, convívio e colaboração nos trabalhos, obrigado.

Ao professor Fernando T. Nicoloso e a Julia G. Farias, pela ajuda, pelos ensinamentos e pela amizade, obrigado.

Aos professores Nereu Augusto Streck, Alberto Cargnelutti Filho e Sidinei J. Lopes, pelos ensinamentos, obrigado.

À UFSM, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, aos professores, ao CNPq pela bolsa de estudo, à FAPERGS e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, obrigado.

Aos ex-colegas do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, Rafael, Tiago R., Tiago F., Edinalvo, Fernando, Silvio, Melissa, Jaqueline, Diego, Dâmaris, Ramon, Alejandro, Paulo, Mara, Rodrigo, Fabrício, pela amizade, pelo convívio e pela troca de experiência, obrigado.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia Gilmar, João, Hilton, Helenice e Regis, obrigado.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ÉPOCA DE SEMEADURA DE ARROZ IRRIGADO: RENDIMENTO DE GRÃOS, CONTROLE DE ARROZ-VERMELHO, EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E ESTRESSE OXIDATIVO

AUTOR: GERSON MENEGHETTI SARZI SARTORI

ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013.

A cultura do arroz irrigado é altamente influenciada pelas condições meteorológicas, tais como temperatura do ar e radiação solar. Nesse sentido, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de épocas de semeadura de arroz no rendimento de grãos e no uso de água, bem como no controle de arroz-vermelho, principal planta daninha do arroz irrigado. Além disso, avaliou-se a influência de diferentes temperaturas na germinação do arroz-vermelho e do arroz irrigado, assim como o estresse oxidativo em plantas de arroz submetidas a diferentes condições de temperaturas e níveis de lâmina de água. Os trabalhos foram realizados a campo em área experimental de várzea e em laboratório, sob câmara B.O.D e Fitotron, com condições controladas de temperatura. Observou-se que a época de semeadura influencia o rendimento de grãos do arroz, a eficiência do uso da água e no controle do arroz-vermelho, sendo a época do início do período recomendado a que proporciona maior rendimento de grãos e eficiência no uso de água. Além disso, nesse período, ocorre menor emergência de arroz-vermelho, resultando em controle mais eficiente. Verificou-se também que a temperatura do solo afeta a germinação do arroz-vermelho o que pode ser uma estratégia significativa no manejo dessa planta daninha. Por outro lado, a temperatura e a altura da lâmina de água são fatores que podem causar estresses oxidativos em plântulas de arroz, com consequências no crescimento e na acumulação de nitrogênio. Quanto menor é a lâmina de água utilizada na lavoura, menores são as alterações morfofisiológicas causadas nas plântulas. O controle químico através da aplicação de imazapyr+imazapic na dose de 52,5+17,5 g ha⁻¹ em PRE + 52,5+17,5 g ha⁻¹ em POS; e 105+35 g ha⁻¹ somente em PRE e POS é eficiente no controle de arroz-vermelho, desde que o manejo da irrigação seja adequado e não haja presença de biótipos de arroz-vermelho resistentes a esses herbicidas.

Palavras-chave: Temperatura. Radiação solar. Estresses de plantas. Controle de planta daninha. *Oryza sativa*.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

IRRIGATED RICE SOWING DATES: GRAIN YIELD, RED RICE CONTROL, WATER USE EFFICIENCY AND OXIDATIVE STRESSE

AUTOR: GERSON MENEGHETTI SARZI SARTORI

ORIENTADOR: ENIO MARCHESAN

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013.

Irrigated rice is highly influenced by weather, as it is by air temperature and solar radiation. Thus, the study aimed to evaluate the effect of sowing dates on grain yield and in water use, as well as in red rice, main weed in irrigated rice. Furthermore, the study evaluated the influence of different temperatures on the germination of red rice and cultivated rice, as well as oxidative stress in rice plants submitted to different temperatures and water level conditions. The studies were performed in field in an experimental lowland area, and in laboratory, in a BOD incubator and in Phytotron with controlled temperature conditions. It was observed that the sowing date has influence on yield, on the efficiency of water use and on the control of red rice, and that the beginning of the recommended period for sowing (end of September and beginning of October) what provides better grain yield and water use efficiency. Also, in this period red rice seeds emerge less, resulting in a more efficient control. It was verified that the soil temperature effects red rice germination, what can be a significant strategy on the management of this weed. On the other hand, the temperature associated to the water level is a factor that causes oxidative stress on rice seedlings, with consequences on growth and nitrogen accumulation. The lower the water level used in the rice paddy, smaller are the morphophysiological changes caused in seedlings. The chemical control by applying imazapyr+imazapic in the dose of 52,5+17,5 g ha⁻¹ in PRE + 52,5+17,5 g ha⁻¹ in POST; and 105+35 g ha⁻¹ only in PRE and POST are efficient on red rice control, on condition that the irrigation management is appropriate and there is no presence of red rice resistant to these herbicides.

Key words: Temperature. Solar radiation. Plant stress. Weed control. *Oryza sativa*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Temperatura média do solo aos 3 cm de profundidade, temperatura máxima do ar e temperatura mínima do ar (Figura 1 a, safra 2010/11) e (Figura 1 b, safra 2011/12), e radiação solar global ocorrida na safra 2010/11 (Figura 1 c) e na safra 2011/12 (Figura 1 d). Santa Maria, RS. 2013. ¹Épocas de semeadura.....51

CAPÍTULO II

Figura 1 – Temperatura do ar máxima e mínima (A), radiação solar global (B), precipitação pluvial (C) e evaporação (D) durante os meses de outubro a abril nas safras 2010/11 e 2011/12. Na figura 1A, os números 1,2,3 e 4 indicam as datas em que ocorreu a floração plena, em que 1 = floração ocorrida em 22/01/11; 2 = floração ocorrida em 26/01/11; 3 = floração ocorrida em 16/03/12; 4 = floração ocorrida em 23/03/12, para as épocas de semeadura de 01/10/10, 27/09/11, 01/12/10 e 07/12/11, respectivamente. Santa Maria, RS. 2013.....65

CAPÍTULO III

Figura 1 - Germinação de sementes (GS) (a), índice de velocidade de emergência (IVE) (b), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) (c) e comprimento da parte aérea (CPA) (d) em função da cultivar de arroz Puitá INTA CL e dos diferentes biótipos de arroz-vermelho com e sem superação da dormência nas diferentes temperaturas do substrato. Santa Maria - RS. 2013. S* = Com superação da dormência das sementes.....79

Figura 2 – Temperatura média do ar máxima e mínima ocorrida durante os meses de setembro a dezembro em Santa Maria no ano de 2011. Santa Maria - RS. 2013.....81

CAPÍTULO IV

- Figura 1 – Temperatura da água e do solo aos 17 e 20°C nas lâminas de água de 1; 5 e 9 cm. Santa Maria, RS. 2013.....94
- Figura 2 – Massa seca de raízes aos 25 dias após a semeadura (DAS) na temperatura de 17 °C (A) e 20 °C (B), massa seca da parte aérea aos 25 DAS (C), nitrogênio acumulado planta⁻¹ na parte aérea aos 25 DAS (D) e relação raízes/parte aérea aos 25 DAS na temperatura de 17 °C (E) e 20 °C (F) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....98
- Figura 3 – Concentração de H₂O₂ na parte aérea (PA) (A, B) na temperatura de 17 °C e 20 °C e concentração de H₂O₂ nas raízes (R) (C) aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....101
- Figura 4 – Peroxidação lipídica em raízes (R) (A, B) e na parte aérea (PA) (C, D) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....102
- Figura 5 – Atividade da SOD (A, B), CAT (C, D) e APX (E, F) em raízes (R) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....106
- Figura 6 – Atividade da SOD (A, B), CAT (C, D) e APX (E, F) na parte aérea (PA) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....107
- Figura 7 – Concentração de clorofila total (A, B) e carotenóides aos 17 °C (C) e 20 °C (D) aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.....108

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios do banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV), controle de arroz-vermelho (CAV), rendimento de grãos (RG), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (E) na safra de 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.....40
- Tabela 2 – Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), número de plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV) e controle de arroz-vermelho (CAV) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.....43
- Tabela 3 – Rendimento de grãos (RG) (kg ha⁻¹), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (E) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.....45
- Tabela 4 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios do banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV), controle de arroz-vermelho (CAV), rendimento de grãos (RG), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (E) na safra de 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.....47

Tabela 5 – Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV) e controle de arroz-vermelho (CAV) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.....49

Tabela 6 – Rendimento de grãos (RG) (kg ha⁻¹), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (E) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2011/12. Santa Maria, RS. 201350

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Volume de água aplicado (VAA), contribuição de água das precipitações pluviais (CP), esterilidade de espiguetas (EE), número de panículas m⁻² (NP), massa de mil grãos (MMG), número de grãos por panícula (NGP), rendimento de grãos (R) e eficiência de uso da água (EUA), na cultivar IRGA 424, em duas épocas de semeadura na safra 2010/11 e 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.....64

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Características morfológicas, largura (L), espessura (E), comprimento (C), massa de mil sementes (MMS) e estatura de plantas (EP) dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar Puitá Inta CL. Santa Maria - RS. 2013.....73

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis: germinação de sementes (VS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea (CPA). Santa Maria - RS. 201375

Tabela 3 – Equações das regressões referentes as variáveis, germinação de sementes (GS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea das plântulas (CPA) em função dos tratamentos utilizados. Santa Maria - RS. 2013.....80

CAPÍTULO IV

Tabela 1 – Número de graus de liberdade (GL) e estimativa de quadrados médios (QM) da massa seca de raízes (R) e da massa seca da parte aérea (PA), nitrogênio acumulado (NA) planta⁻¹ na PA e relação raiz/parte aérea (R/PA) aos 25 dias após a semeadura (25 DAS). Santa Maria, RS. 2013.....95

Tabela 2 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e superóxido dismutase (APX) das raízes (R) e da parte aérea (PA) e da clorofila total e carotenóides da parte aérea (PA) aos 25 dias após a semeadura (25 DAS). Santa Maria, RS. 2013.....99

Tabela 3 – Clorofila total aos 25 dias após a semeadura (DAS), em função das temperaturas do ar e das cultivares de arroz irrigado. Santa Maria, RS. 2013.....109

LISTA DE ABREVIATURAS

APX - ascorbato peroxidase
BSAV - banco de sementes de arroz-vermelho
C - comprimento
CAT - catalase
CAV - controle de arroz-vermelho
CP - contribuição de água das precipitações pluviais
CPA - comprimento da parte aérea
Cu/Zn-SOD - superóxido dismutase dependente de cobre e zinco
CUE - coeficiente de uniformidade de emergência
DAS - dias após a semeadura
DMSO - dimetilsulfóxido
E - espessura
EAV - emergência de arroz-vermelho
EDTA - ácido etilenodiaminotetracético
EE - esterilidade de espiguetas
EP - estatura de plantas
EROs - espécies reativas de oxigênio
EUA - eficiência de uso da água
Fe-SOD - superóxido dismutase dependente de ferro
FV - fonte de variação
GL - número de graus de liberdade
GS - germinação de sementes
H₂O₂ - peróxido de hidrogênio
IVE - índice de velocidade de emergência
KI - iodeto de potássio
KPO₄ - fosfato de potássio
L - largura
MDA - malondialdeído
MMG - massa de mil grãos
MMS - massa de mil sementes
Mn-SOD - superóxido dismutase dependente de manganês
N - nitrogênio
NA - nitrogênio acumulado
NGP - número de grãos por panícula
NP - número de panículas
O₂ - oxigênio molecular
O₂⁻ - radical superóxido
O₂¹ - radical oxigênio singleto
OH⁻ - radical hidroxil
PA - parte aérea
PDV - plantas dessecadas de arroz-vermelho
pH - potencial de hidrogênio
POS - pós-emergência
PRE - pré-emergência
PVP - polivinilpirrolidona
QM - quadrados médios
R - raízes

R/PA - relação raízes/parte aérea

RBAV - redução do banco de sementes de arroz-vermelho

RG - rendimento de grãos

SOD – superóxido dismutase

TBA - ácido tiobarbitúrico

VAA - volume de água aplicado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Época de semeadura, uso de água e rendimento de grãos de arroz irrigado.....	25
2.2 Arroz-vermelho, caracterização e controle.....	27
2.3 Espécies reativas de oxigênio (EROs) e estresse oxidativo.....	29
3 CAPÍTULO I - EFEITO DA ÉPOCA DE SEMEADURA DO ARROZ IRRIGADO E DO MOMENTO DE APLICAÇÃO DE IMAZAPYR+IMAZAPIC NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE ARROZ E NO MANEJO DO ARROZ-VERMELHO.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	34
Introdução.....	35
Material e métodos.....	36
Resultados e discussão.....	39
Conclusão.....	52
Referências bibliográficas.....	52
4 CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA NO USO DE ÁGUA DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA.....	57
Resumo.....	57
Abstract.....	57
Introdução.....	58
Material e métodos.....	59
Resultados e discussão.....	61
Conclusão.....	65
Referências bibliográficas.....	66
5 CAPÍTULO III - GERMINAÇÃO DE BIÓTIPOS DE ARROZ-VERMELHO E DA CULTIVAR PUITÁ INTA CL SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DO SUBSTRATO.....	69
Resumo.....	69
Abstract.....	70
Introdução.....	70
Material e métodos.....	72
Resultados e discussão.....	74
Conclusão.....	82
Referências bibliográficas.....	82
6 CAPÍTULO IV - RESPOSTA FISIOLÓGICA DE CULTIVARES DE ARROZ EXPOSTAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E NÍVEIS DE ÁGUA NO SISTEMA PRÉ-GERMINADO.....	85
Resumo.....	85
Abstract.....	86
Introdução.....	87
Material e métodos.....	88

Resultados e discussão.....	93
Conclusão.....	110
Referências bibliográficas.....	111
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
8 REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

O arroz irrigado é uma das culturas mais importantes do Estado do Rio Grande do Sul (RS), pois, além de ser o alimento básico para a maioria da população, é fonte importante de renda para os agricultores. Apesar da elevada produção de arroz do RS, com cerca de 60% da produção nacional, a produtividade, ainda está abaixo do potencial de rendimento das cultivares disponíveis no mercado. Diversas tecnologias e práticas de manejo influenciam o rendimento de grãos e a sustentabilidade do sistema. No entanto, se considerada de forma isolada, a época de semeadura do arroz constitui-se numa das mais importantes práticas de manejo. Essa prática tem por objetivo fazer coincidir o período mais responsivo da planta à radiação solar com a época de ocorrência de maior disponibilidade na região.

Devido à maioria das lavouras orizícolas estarem situadas em áreas de várzeas, as quais possuem relevo plano e drenagem deficiente, o período para realizar a semeadura fica limitado a pequenos intervalos de tempo devido ao excesso de umidade do solo decorrente das precipitações que são comuns durante o período de semeadura do arroz. Dessa forma, dependendo das condições meteorológicas de cada ano, especialmente a precipitação pluvial, a semeadura na época preferencial pode ser prejudicada. O zoneamento agrícola para o arroz irrigado no RS contempla a possibilidade de semeadura a partir do início de setembro, dependendo da região e da cultivar, ampliando o período de semeadura e a possibilidade de que ocorra na melhor época.

Entretanto, além do rendimento de grãos da cultura, outros parâmetros relacionados ao sistema de produção de arroz podem ser influenciados pela época de semeadura. Um dos parâmetros que pode ser influenciado diretamente, é o controle de arroz-vermelho, devido à sua característica fisiológica de maior dormência das sementes. Desta forma, a identificação do melhor momento de semeadura pode significar uma contribuição importante para controle cultural desta planta daninha. Além disso, é importante identificar a época de semeadura do arroz irrigado que proporciona maior eficiência no uso de água. Assim, no início do período de semeadura, entre setembro e outubro, em função das precipitações pluviais serem normalmente elevadas e as perdas de água por evaporação serem mais baixas, devido às menores temperaturas e também a menor intensidade de radiação solar, a quantidade de água aplicada na lavoura pode ser menor, auxiliando na sustentabilidade de produção de arroz.

Por outro lado, na semeadura do início do período recomendado, a germinação e a emergência do arroz podem ser prejudicadas, porque as temperaturas do ar e do solo são mais baixas que o ideal para desenvolvimento da cultura. A temperatura baixa do ar é um dos fatores de estresse abióticos importantes em arroz. Nesse sentido, a identificação de mecanismos que são influenciados pela temperatura baixa pode contribuir no processo de seleção de genótipos e práticas de manejo adequadas da lavoura, visando o melhor estabelecimento inicial das plântulas. Assim, torna-se necessário conhecer a reação de diferentes cultivares de arroz quanto ao estresse por temperatura baixa e quais as alternativas de manejo para minimizá-lo. Uma alternativa de manejo importante que deve ser melhor caracterizada para minimizar os estresses e proporcionar melhor desenvolvimento inicial das plântulas de arroz, é o manejo da lâmina de água de irrigação.

Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar épocas de semeadura do arroz irrigado e os momentos de aplicação do imazapyr+imazapic no controle do arroz-vermelho e no rendimento de grãos do arroz irrigado (Capítulo I); avaliar o rendimento de grãos e a eficiência de uso da água pelo arroz irrigado na semeadura no início da época recomendada e na época tardia para a Depressão Central do Rio Grande do Sul, uma das regiões orizícolas de grande relevância desse estado (Capítulo II); avaliar o efeito de diferentes temperaturas do substrato na germinação da cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL e de diferentes biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação de dormência (Capítulo III) e avaliar a resposta inicial de dois genótipos de arroz a diferentes temperaturas do ar e níveis de lâmina de água, sendo avaliados parâmetros relacionados ao status de estresse oxidativo, crescimento e nutrição mineral de plântulas submetidas ao sistema de cultivo pré-germinado (Capítulo IV).

2 REVISÃO BIBLIGRÁFICA

2.1 Época de semeadura, uso de água e rendimento de grãos de arroz irrigado

A época de semeadura do arroz consiste em uma das mais importantes práticas de manejo para obter elevado rendimento de grãos. De acordo com o Zoneamento Agrícola para o Estado do Rio Grande do Sul (RS), a época de semeadura varia com o município e com o ciclo da cultivar, sendo este determinado pelo número de dias da emergência até a maturação fisiológica das plantas. Um dos fatores determinantes da época de semeadura é fazer coincidir o período reprodutivo (floração e enchimento de grãos) com os meses de maior disponibilidade de radiação solar (FREITAS et al., 2008). A coincidência desse período com as melhores condições de radiação solar, e de temperatura do ar constitui-se em um dos principais fatores relacionados ao rendimento de grãos da cultura (SLATON et al., 2003; LINScombe et al., 2004, FREITAS et al., 2008; AKBAR et al., 2010; et al., 2011; LACK et al., 2012).

De acordo com Pedro Júnior et al. (1995), valores ótimos de temperatura do ar e radiação solar no período crítico de formação da produção são de 25 °C e 475 cal cm⁻² dia⁻¹, respectivamente. Para Yoshida (1981), a temperatura ideal para desenvolvimento do arroz situa-se entre 25 °C e 30 °C. Temperaturas abaixo disso podem ocasionar estresse por frio, provocando alterações na germinação, porcentagem de plântulas normais e no comprimento do coleóptilo, entre outras alterações (MERTZ et al., 2009). Além disso, temperaturas baixas na microsporogênese (GUNAWARDENA et al., 2003; FARRELL et al., 2006) ou elevadas na antese podem causar esterilidade de espiguetas e diminuir o rendimento de grãos da cultura. Na antese, temperaturas superiores a 35°C por mais de uma hora podem diminuir a fertilidade de espiguetas em arroz (JAGADISH et al., 2007). Para Rang et al. (2011), a resposta do arroz à elevada temperatura do ar difere com o estágio de desenvolvimento, sendo mais sensível na fase reprodutiva.

No RS, dependendo do ciclo da cultivar, é possível semear arroz a partir de primeiro de setembro, estendendo-se esse período até início de dezembro. Com isso, o período vegetativo e reprodutivo da cultura podem ser expostos à uma ampla variabilidade climática, podendo comprometer seu desempenho agrônômico. De acordo com Slaton et al. (2003) e Freitas et al. (2008), os maiores rendimentos de grãos são obtidos no início da época

recomendada e tendem a reduzir quando a semeadura ocorrer no final da época. Com o atraso da época de semeadura, há redução no número de panículas por metro quadrado (FREITAS et al., 2008) e maior esterilidade de espiguetas (LIMA et al., 2005). Por outro lado, ao antecipar a época de semeadura, a emergência e o estabelecimento inicial podem sofrer impactos negativos, devido principalmente às temperaturas subótimas do ar e do solo nesse período (SLATON et al., 2003).

A época de semeadura, além de afetar no rendimento de grãos, pode influenciar o uso da água pela cultura, que é um tema importante de estudo para diversos pesquisadores (TOESCHER et al., 1997; BOUMAN & TUONG, 2001; MACHADO et al., 2006; AHMAD et al., 2008; JALOTA et al., 2009; MAHAJAN et al., 2009; YAO et al., 2012). A importância de se realizarem estudos com enfoque na minimização do uso de água em arroz deve-se ao fato de que o arroz é a espécie mais cultivada entre as culturas sob irrigação (FAROOQ et al., 2009) e é classificada como muito exigente quanto à água durante o ciclo (NOLDIN et al., 2001, MACHADO et al., 2003, 2006).

O desafio para produção sustentável de arroz é desenvolver novas tecnologias e sistemas de produção, que permitam que a produção de arroz seja mantida ou aumentada, pela melhoria da eficiência do uso da água (NGUYEN et al., 2009; FAROOQ et al., 2009). Segundo Farooq et al. (2009), a taxa de transpiração poderia ser investigada para aumentar a eficiência do uso de água em arroz. No entanto, para Jalota et al. (2009) a economia no uso de água pode ser alcançada pela redução de perdas de água por evaporação e evapotranspiração. Na prática, isso pode ser alcançado alterando a data de semeadura para um período de menor evaporação (CHAHAL, et al., 2007; JALOTA et al., 2009).

Para as condições do RS, esta condição poderia ser contemplada semeando a cultura no início da época recomendada, pois, no início da época (setembro e outubro), além da menor evaporação, normalmente ocorre maior precipitação pluvial, proporcionando, desta forma economia no volume de água aplicado na lavoura. Nesse sentido, Mahajan et al. (2009) encontraram maior eficiência no uso de água na semeadura realizada no início da época recomendada ao avaliarem diferentes épocas de semeadura no estado de Punjab, noroeste da Índia. Além do menor volume de água aplicado, a maior eficiência no uso de água pode ser alcançada através do aumento do rendimento de grãos, pois essa eficiência é determinada pelo volume de água utilizado (MACHADO et al., 2006).

2.2 Arroz-vermelho, caracterização e controle

O arroz-vermelho (*Oryza sativa*) é considerado como pertencente à mesma espécie do arroz irrigado (AGOSTINETO et al., 2001; MENEZES et al., 2002; FONTANA et al., 2007) devido a planta apresentar características genótípicas e fenotípicas semelhantes (BURGOS et al., 2008; LEON et al., 2008). Entretanto, estudos utilizando marcadores de DNA mostraram que essa planta daninha é constituída de espécies do gênero *Oryza*, como *Oryza rufipogon* e *Oryza nivara*, e subespécies, como *Oryza sativa* ssp. *Indica* e *Oryza sativa* ssp. *japonica* (VAUGHAN et al., 2001). Normalmente, a população de arroz-vermelho é constituída de vários biótipos, que apresentam variações em suas características morfológicas (NOLDIN et al., 1999; MENEZES et al., 2002; FONTANA et al., 2007; SHIVRAIN et al., 2009). A diversidade da população é aumentada pela ocorrência de cruzamento natural, o que favorece o aparecimento de biótipos com comportamento e características similares às cultivares utilizadas em lavouras (SCHWANKE et al., 2008).

Essa planta daninha é considerada uma das mais importantes em áreas de produção de arroz (ZHANG et al., 2006) devido a sua alta capacidade de produção de perfilhos e biomassa em relação ao arroz cultivado (MENEZES et al., 2002; ESTORNINOS et al., 2005). Além disso, ela compete por luz, água e nutrientes (AGOSTINETO et al., 2001; BURGOS et al., 2006) e apresenta capacidade de emergir em maiores profundidades do solo (GEALY et al., 2000). De acordo com relatos de Montealegre & Vargas (1989), cada panícula de arroz vermelho por metro quadrado de área, causa redução em torno de 18 kg ha⁻¹ no rendimento de grãos do arroz cultivado. Segundo Marchezan et al. (2004), estimativas indicam que as perdas diretas decorrentes da competição com arroz-vermelho podem chegar a 20% da produção de arroz irrigado do Estado do Rio Grande do Sul.

Além disso, sementes de arroz-vermelho podem permanecer viáveis no solo por até 12 anos (SMITH JUNIOR, 1992). Isso é conhecido como dormência, sendo definida como um estado físico e/ou fisiológico que impede a germinação de sementes viáveis, mesmo em condições favoráveis à germinação (SESHU & SORRELLS, 1986). De acordo com Agostinetto et al. (2001), os graus de dormência entre os biótipos de arroz-vermelho são diferenciados. Existem duas situações que caracterizam a dormência, sendo a primeira estabelecida durante a maturação fisiológica, podendo ser superada pelo período de armazenamento, ou por meio de métodos físicos e/ou químicos (SCHWANKE et al., 2008). No entanto, a dormência secundária ocorre quando não são dadas condições favoráveis à

germinação (AGOSTINETTO et al., 2001; SCHWANKE et al., 2008). Isso pode ser um fator importante relacionado às infestações de arroz-vermelho (SCHWANKE et al., 2008), pois a dormência distribui a germinação ao longo do tempo, dificultando as práticas de controle (AGOSTINETTO et al., 2001; GIANINETTI et al., 2007; FOGLIATTO et al., 2011; MARCHESAN et al., 2011). Segundo Burgos et al. (2008), a dormência contribui para um menor coeficiente de uniformidade de emergência das plântulas de arroz-vermelho em comparação ao arroz cultivado, dificultando ainda mais o controle.

Outro fator que pode afetar a eficiência de controle é o tempo de emergência das plântulas, pois, de acordo com Shivrain et al. (2009), quando o tempo de emergência entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado forem semelhantes, os biótipos surgirão tão rápido quanto o arroz cultivado, causando competição desde o estabelecimento inicial. Segundo o autor, os biótipos que apresentarem igual ou superior velocidade de emergência competirão mais pelos recursos naturais em comparação ao arroz cultivado. Em lavouras com alta infestação de arroz-vermelho, as diferenças no início da emergência, velocidade e duração de emergência, fazem com que o gerenciamento dessa planta daninha seja dificultado (SHIVRAIN et al., 2009).

Há diversas práticas de manejo disponíveis que podem ser utilizadas para realizar controle dessa planta daninha. Nos Estados Unidos, pesquisas realizadas por Burgos et al. (2008) relatam que, para 86% e 77% dos entrevistados, a rotação de cultura e o uso de sementes certificadas, respectivamente, são as melhores práticas de manejo. Já a aplicação de herbicidas foi citada por apenas 25% dos entrevistados.

Outra prática importante no controle de arroz-vermelho é a época de semeadura do arroz, pois, no início da época recomendada (setembro e outubro), as temperaturas do ar e do solo são mais baixas, o que mantém a dormência das sementes, reduzindo a germinação e a emergência de plântulas (GIANINETTI & COHN, 2008; YOUNG-SON CHO, 2010). Por outro lado, no final da época (novembro) e na época tardia (dezembro), o arroz cultivado apresenta menor potencial de competição em relação ao arroz-vermelho, pois a velocidade de emergência do arroz-vermelho é muito semelhante ao do arroz cultivado, implicando em rápido estabelecimento dos biótipos (SHIVRAIN et al., 2009). De acordo com Norsworthy & Oliveira (2007), esse aumento na velocidade de emergência ocorre devido as temperaturas mais elevadas, às quais proporcionam o rápido surgimento das plântulas.

Entre as ferramentas mais recentes para controle químico de arroz-vermelho, destaca-se o desenvolvimento de cultivares tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas, sendo esse sistema denominado sistema Clearfield[®], que proporciona de 95 a 100% de controle na

maior parte dos casos (STEELE et al., 2002; AVILA et al., 2005; OTTIS et al., 2005; LEVY et al., 2006; SANTOS et al., 2007). Tem-se observado que a aplicação desses herbicidas em dois momentos, em pré-emergência do arroz cultivado mais uma aplicação em pós-emergência, tem proporcionado melhor controle comparado a apenas uma aplicação, seja ela em pré-emergência ou em pós-emergência (SANTOS et al., 2007). Por outro lado, nesse sistema, a preocupação é com o cruzamento que ocorre entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado. Pesquisa realizada em Arkansas, EUA, por Burgos et al. (2008), após cinco anos de sistema Clearfield[®], relatou que 34 dos 51 entrevistados observaram sinais de cruzamento em cerca de 20% de suas lavouras, sendo que a maioria (55%) dos entrevistados relatou cerca de 1 a 10% de suas lavouras com sinais de polinização cruzada.

2.3 Espécies reativas de oxigênio (EROs) e estresse oxidativo

As espécies reativas de oxigênio (EROs) são formas parcialmente reduzidas do oxigênio atmosférico (O_2) e podem ser resultadas da excitação do O_2 para a forma de oxigênio singleto (O_2^1), ou da transferência de um, dois ou três elétrons para o O_2 , o qual origina o radical superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ou um radical hidroxil (OH) (GUTTERIDGE, 1995). Em condições normais de crescimento, há produção de baixa quantidade dessas espécies, o que ocorre, principalmente, nos cloroplastos durante a fotossíntese e nas mitocôndrias durante a respiração (MITTLER, 2002).

No entanto, estresses abióticos induzem a produção de EROs em compartimentos celulares (UPADHYAYA et al. 2007). Na natureza, estresses abióticos ocorrem de uma forma complexa, ou seja, vários diferentes estresses podem ocorrer concomitantemente, um após o outro (MITTAL et al., 2009).

O equilíbrio entre a produção e a eliminação de EROs pode ser afetado por vários fatores (GILL & TUJETA, 2010), sendo a baixa temperatura do ar um dos fatores de estresse abiótico com consequências marcantes na produtividade das culturas (RANAWAKE et al., 2012; OHSUMI et al., 2012; KOCSY et al., 2012). Segundo Bonnacarrère et al. (2011), há resultados contraditórios quanto ao aumento ou à diminuição da atividade das enzimas antioxidantes quando as plantas são cultivadas sob estresse por frio. De acordo com os autores, as diferenças encontradas podem estar relacionadas aos genótipos, mas não necessariamente a um mecanismo de tolerância ao frio. Devido à instabilidade das EROs,

ocorre desencadeamento de reações peroxidativas, com consequências em biomoléculas, como lipídios de membrana, proteínas, pigmentos fotossintéticos e ácidos nucleicos (FOYER et al., 1994; GUTTERIDGE, 1995; MITTLER, 2002; UPADHYAYA et al., 2007; GILL & TUTEJA, 2010). Essas consequências ocorrem quando a produção dessas espécies é elevada, ou quando o sistema de defesa não está funcionando adequadamente (GILL & TUTEJA, 2010).

Segundo Niki (2009), a peroxidação lipídica é um dos principais efeitos do aumento das EROs, e isso causa danos à estrutura e ao funcionamento das membranas. Para Gill & Tuteja (2010), a peroxidação de lipídios é considerada como o mais prejudicial processo, pois ocorre em todos os organismos vivos.

Existem vários mecanismos estabelecidos que levam à redução ou à prevenção do estresse oxidativo e seus efeitos nocivos (BONNECARRÈRE et al., 2011). Esse processo é dado pelo sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático (SHARMA & DUBEY, 2005). Nas plantas e em outros organismos, os antioxidantes enzimáticos, como a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX), são responsáveis por manter a produção de EROs em equilíbrio (ELLA et al., 2003; GILL & TUTEJA, 2010; BONNECARRÈRE et al., 2011). Além disso, os carotenóides são antioxidantes não enzimáticos importantes em plantas (SALGUERO et al., 2003; GILL & TUTEJA, 2010). De acordo com Gill e Tuteja (2010), o sistema antioxidante protege as plantas contra o estresse oxidativo.

A SOD são metaloenzimas responsáveis pela dismutação do O_2^- a peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (MITTLER, 2002; ELLA et al., 2003; GILL & TUTEJA, 2010). Segundo Gill & Tuteja (2010), a SOD é uma das enzimas antioxidantes mais eficazes e está presente em todos os organismos aeróbicos e em todos os compartimentos subcelulares, sendo a primeira linha de defesa contra os efeitos tóxicos da elevada produção de EROs. Há diferentes isoenzimas de SOD, a Cu/Zn-SOD, a Mn-SOD e a Fe-SOD, as quais estão localizadas em diferentes compartimentos celulares (MITTLER, 2002).

O H_2O_2 produzido pela dismutação do O_2^- também é tóxico, podendo ser detoxicado pela APX e/ou CAT, sendo a CAT encontrada principalmente nos peroxissomos (MITTLER, 2002). Em células de folha, o H_2O_2 , por ser um oxidante forte, pode iniciar danos oxidativos conduzindo a destruição da função metabólica e a perda da integridade celular, promovendo a senescência (BONNECARRÈRE et al., 2011).

Segundo Mittler (2002), a CAT é responsável pela remoção do excesso de EROs durante o estresse sem necessitar de equivalentes redutores. A CAT é uma enzima

indispensável na detoxificação das EROs durante as condições de estresse. De acordo com Gill & Tuteja (2010), uma molécula de CAT apresenta capacidade de converter aproximadamente 6 milhões de moléculas de H_2O_2 em H_2O e O_2 por minuto. Segundo o autor, é uma enzima importante na remoção de H_2O_2 gerados pelas oxidades envolvidas nos peroxisossomos.

A APX é uma enzima importante na limpeza de EROs, protegendo as células de plantas superiores convertendo o H_2O_2 em H_2O (GILL & TUTEJA, 2010). Segundo o autor, a APX tem maior afinidade por H_2O_2 do que a CAT, e isso tem um papel crucial no controle de EROs durante o estresse.

O sistema de defesa não enzimático também tem papel importante para as células. Entre eles, os carotenóides também possuem potencial de limpeza de EROs (BONNECARRÈRE et al., 2011) e de dissipação do excesso de energia (GILL & TUTEJA, 2010). Em arroz, os mesmos autores encontraram diminuição no teor de carotenóides com o aumento da concentração de H_2O_2 (UPADHYAYA et al., 2007).

3 CAPÍTULO I

EFEITO DA ÉPOCA DE SEMEADURA DO ARROZ IRRIGADO E DO MOMENTO DE APLICAÇÃO DE IMAZAPYR+IMAZAPIC NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE ARROZ E NO MANEJO DO ARROZ-VERMELHO

Resumo

A época de semeadura de arroz irrigado e a competição com arroz-vermelho estão entre os principais fatores que afetam o rendimento de grãos da cultura. O objetivo foi avaliar épocas de semeadura do arroz irrigado e dos momentos de aplicação do herbicida imazapyr+imazapic no controle de arroz-vermelho e no rendimento de grãos de arroz irrigado. Realizaram-se oito experimentos nas seguintes épocas de semeadura: 30/09; 19/10; 08/11 e 01/12 (safra 2010/11) e 27/09; 17/10; 08/11 e 05/12 (safra 2011/12). Os tratamentos avaliados foram: aplicação do herbicida imazapyr+imazapic nas doses de 105+35 g ha⁻¹ em pré-emergência (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ em pré-emergência e 52,5+17,5 g ha⁻¹ em pós-emergência (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ em pós-emergência (POS), além de uma testemunha sem aplicação e sem capina. A cultivar utilizada foi Puitá Inta CL que é tolerante a herbicidas do grupo das imidazolinonas, sendo esse sistema denominado Sistema Clearfield[®], e o delineamento utilizado foi blocos ao acaso em quatro repetições. Realizou-se análise conjunta dos experimentos em cada safra. Ocorreu menor emergência de arroz-vermelho e maior rendimento de grãos de arroz irrigado no início da época de semeadura (30/09/10 e 27/09/11), com 10.578 e 8.653 kg ha⁻¹, respectivamente. Na época tardia de semeadura (01/12/10 e 05/12/11), houve maior redução do banco de sementes do arroz-vermelho. A semeadura no início da época recomendada proporciona maior rendimento de grãos de arroz irrigado. A aplicação de imazapyr+imazapic na dose de 52,5+17,5 g ha⁻¹ em PRE + 52,5+17,5 g ha⁻¹ POS; e 105+35 g ha⁻¹ somente em PRE e POS, foi eficiente no controle do arroz-vermelho.

Palavras chaves: planta daninha, herbicida, controle químico, temperatura, radiação solar, *Oryza sativa*.

Abstract

The sowing season of irrigated rice and competition of red rice are among the main factors affecting grain yield of crop. The objective was to evaluate sowing date of irrigated rice and moments of application of herbicide imazapyr + imazapic to control of red rice and grain yield of irrigated rice. Eight experiments were performed at the following sowing dates (09/30, 10/19, 11/08 and 12/01) for the 2010/11 harvest season and (09/27, 10/17, 11/08 and 12/05) for the 2011/12 harvest season. The treatments were: application of the herbicide imazapyr + imazapic at doses of 105+35 g ha⁻¹ in pre-emergence (PRE); 52.5+17.5 g ha⁻¹ in pre-emergence and 52.5+17.5 g ha⁻¹ in post emergence (PRE + POST); and 105+35 g ha⁻¹ in post emergence (POST), and a control without application and no weeding. The cultivar used was the Puitá Inta CL, which is tolerant to imidazolinone herbicides, a technology called the Clearfield System[®] and the design was a randomized block design with four replicates. A joint analysis of experiments was carried out. There was less emergence of red rice and higher grain yield of irrigated rice at the early period (09/30/10 and 09/27/11), with 10,578 and 8,653 kg ha⁻¹, respectively. At the late season (12/01/10 and 12/05/11), there was greater reduction of red rice seed bank. Sowing at the beginning of the recommended period provides more irrigated rice grain yield. The application of imazapyr + imazapic at a dose of 52.5+17.5 g ha⁻¹ in PRE + 52.5+17.5 g ha⁻¹ POST, and 105+35 g ha⁻¹ only in PRE and POST were effective in red rice control.

Key words: weed, herbicide, chemical control, temperature, solar radiation, *Oryza sativa*.

Introdução

A época de semeadura de arroz irrigado exerce papel fundamental no potencial produtivo da cultura, pois afeta a resposta de outras práticas de manejo. Segundo Freitas et al. (2008), a coincidência da floração do arroz e do período de enchimento de grãos com o período de maior disponibilidade de radiação solar é o fator que determina a época de semeadura do arroz, pois condições ótimas de radiação solar e temperatura são fundamentais para elevar o potencial de rendimento de grãos. De acordo com Junior et al. (1995), os valores ótimos de temperatura do ar e de radiação no período da floração são de 25 °C e 475 cal cm⁻² dia⁻¹, respectivamente.

Entretanto, temperaturas baixas na microsporogênese ou elevadas na antese podem causar esterilidade de espiguetas, diminuindo o rendimento da cultura (FARRELL et al., 2006). De acordo com Jagadish et al. (2007), temperaturas superiores a 35°C na antese por mais de uma hora podem diminuir a fertilidade de espiguetas em arroz. Rang et al. (2011) relatam que a resposta do arroz à elevada temperatura difere com o estágio de desenvolvimento, com maior sensibilidade na fase reprodutiva.

De acordo com Slaton et al. (2003) e Freitas et al. (2008) os maiores rendimentos de grãos do arroz irrigado são obtidos quando as semeaduras são realizadas no início da época recomendada e tendem a diminuir quando realizadas ao final da época. Com o atraso da época de semeadura, há redução no número de panículas por metro quadrado (FREITAS et al., 2008). Por outro lado, ao antecipar a época de semeadura, a emergência e o estabelecimento inicial podem sofrer impactos negativos, devido principalmente às temperaturas subótimas do ar neste período (SLATON et al., 2003).

Além de influenciar o potencial de rendimento de grãos de arroz, a época de semeadura, se considerada isolada, pode contribuir para controle mais eficiente de arroz-vermelho, uma das plantas daninhas mais importantes em áreas de arroz irrigado. De acordo com Marchesan et al. (2010) e Marchesan et al. (2011), o arroz-vermelho interfere no rendimento de grãos e na qualidade do produto final, bem como no preço pago pelo produto (GEALY et al., 2000).

Existem alternativas para controle químico de arroz-vermelho, que são o uso de cultivares tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. Entretanto, devido à diversidade de biótipos existentes, ao cruzamento entre o arroz-vermelho e o arroz cultivado, à dormência de sementes (BURGOS et al., 2008), e as diferenças no início da emergência,

velocidade e duração de emergência (SHIVRAIN et al., 2009), o controle dessa planta daninha é dificultado.

Nesse sentido, a época de semeadura pode ser uma prática cultural importante no controle de arroz-vermelho, pois, no início da época recomendada (setembro/outubro), as temperaturas do ar e do solo são menores em comparação às épocas ao final do período recomendado (novembro) e tardia (dezembro). Essa condição de temperatura mais baixa mantém a dormência de sementes de arroz-vermelho, reduzindo a germinação e a emergência de plantas (GIANINETTI E COHN, 2008; YOUNG-SON CHO, 2010).

Shivrain et al. (2009) relataram que, em semeaduras realizadas no início da época recomendada, a competição de arroz-vermelho é menor quando comparada com semeaduras no final da época. Segundo Norsworthy e Oliveira (2007), no final da época recomendada, a taxa de emergência do arroz-vermelho é aumentada devido às temperaturas mais elevadas, as quais proporcionam rápido surgimento e estabelecimento das plântulas. Com isso, há necessidade de conhecer o efeito da época de semeadura, associada às condições de clima como temperatura e radiação solar na dinâmica do arroz-vermelho e no rendimento de grãos do arroz cultivado, para que se possa realizar um controle mais eficiente de arroz-vermelho. Além disso, há necessidade de conhecer o melhor momento de aplicação desses herbicidas utilizados (imazapyr e imazapic) de acordo com a época de semeadura, pois alguns trabalhos realizados nesse sentido, como os de Santos et al. (2007) e Marchesan et al. (2011), avaliaram momentos de aplicação de herbicidas em apenas uma época de semeadura, sendo importante verificar o comportamento desses momentos de aplicação em diferentes épocas de semeadura.

Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar épocas de semeadura do arroz irrigado e dos momentos de aplicação dos herbicidas imazapyr+imazapic no controle do arroz-vermelho e no rendimento de grãos do arroz irrigado.

Material e métodos

Foram realizados oito experimentos nas safras agrícolas de 2010/11 e de 2011/12. A área utilizada pertence a região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), no município de Santa Maria, onde o clima é caracterizado, segundo a classificação

de KÖPPEN, como subtropical úmido (Cfa), sem estação seca, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (MORENO, 1961).

Os experimentos foram realizados em solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2006), o qual apresentava as seguintes características físico-químicas: argila = 18%; pH _{água} (1:1) = 5,8; P = 7,6 mg dm⁻³; K = 40 mg dm⁻³; Ca = 6,1 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,8 cmol_c dm⁻³ e M.O. = 2,1 %.

Os experimentos foram constituídos de épocas de semeadura do arroz irrigado Puitá Inta-CL (30/09; 19/10; 08/11 e 01/12) safra 2010/11 e (27/09; 17/10; 08/11 e 05/12) safra 2011/12. O período de semeadura, segundo o zoneamento agrícola para a Puitá Inta-CL em Santa Maria, vai de primeiro de setembro a 20 de novembro. No entanto, a escolha das épocas de semeadura deste trabalho objetivou representar o período de semeadura para o RS que vai de primeiro de setembro até dez de dezembro segundo o zoneamento agrícola, variando com o ciclo de cada cultivar e com a região de cultivo. Os tratamentos de controle de arroz-vermelho através do uso de herbicida foram: aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) nas doses de 105+35 g ha⁻¹ em pré-emergência (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ em pré-emergência e 52,5+17,5 g ha⁻¹ em pós-emergência (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ em pós-emergência (POS), além de uma testemunha sem aplicação de herbicida e sem capina. O delineamento utilizado foram blocos ao acaso em quatro repetições. A aplicação em PRE foi realizada no estágio S₃ (ponto de agulha) do arroz irrigado, e a aplicação em POS foi realizada um dia antes da irrigação definitiva no estágio V₃/V₄ segundo escala de Counce et al. (2000). Também no estágio S₃ (ponto de agulha) do arroz irrigado foi aplicado o herbicida glyphosate na dose de 1,08 kg ha⁻¹ em todos os tratamentos, com finalidade de controlar todas as plantas de arroz-vermelho que haviam emergido no período compreendido entre a semeadura e o ponto de agulha do arroz irrigado.

Utilizou-se a cultivar de arroz irrigado Puitá Inta-CL, a qual apresenta ciclo médio de 125 dias, na quantidade de 90 kg ha⁻¹ de semente, semeada no espaçamento entre linhas de 0,17 m, no sistema de cultivo mínimo, na safra 2010/11, e no sistema de semeadura direta, na safra 2011/12. A adubação de base foi de 15 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. A dose de N foi dividida nas quantidades de 15 kg ha⁻¹ por ocasião da semeadura, 70 kg ha⁻¹ no perfilhamento (V₃/V₄) e 35 kg ha⁻¹ na iniciação da panícula (R₀).

Foram realizadas as seguintes avaliações: banco de sementes de arroz-vermelho, determinado antes da semeadura (em as épocas de semeadura), por meio da contagem do número de sementes de arroz-vermelho em duas subamostras de 0,2 x 0,2 m em cada parcela na profundidade de 7 cm; número de plantas de arroz-vermelho emergidas no intervalo

compreendido da aplicação em PRE até a aplicação em POS, determinado pela contagem das plantas emergidas em duas subamostras de 0,2 x 0,2 m em cada parcela, transformado posteriormente em porcentagem em relação ao banco de sementes; número total de plantas dessecadas até o momento de cada época de semeadura, determinado pela contagem do número de plantas de arroz-vermelho em um quadro de 0,5 x 0,5 m por parcela de 1,53 x 5 m.

As dessecações foram realizadas com herbicida glyphosate na dose de 1,08 kg ha⁻¹ quando as plantas de arroz-vermelho se encontravam no estágio V₃/V₄. A redução do banco de sementes foi determinada pelo somatório das plantas emergidas da aplicação em PRE até POS com o número total de plantas dessecadas até o momento de cada época de semeadura, transformando-se em porcentagem em relação ao banco de sementes.

Além disso, avaliou-se o controle de arroz-vermelho por meio da contagem do número de panículas de arroz-vermelho em cada parcela e transformado em porcentagem em relação à testemunha.

O rendimento de grãos foi estimado por meio da colheita manual de 4,16 m² de área útil, quando os grãos se encontravam com grau de umidade médio de 22%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha⁻¹. O número de panículas m⁻² foi determinado pela contagem das panículas em um metro de linha e nessa mesma área foram coletadas 15 panículas por ocasião da colheita para estimativa do número de grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas.

Os valores de radiação solar global e temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, disponível no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já a temperatura do solo foi obtida utilizando-se sensor de temperatura (modelo 108-L34-PT) na profundidade de 3 cm e registrada em coletor de dados CR1000.

Os resultados foram submetidos à análise de variância conjunta, comparando-se, em cada safra, as épocas de semeadura do arroz irrigado. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os dados das variáveis redução do banco de sementes de arroz-vermelho, número de plantas dessecadas de arroz vermelho m⁻² e emergência de arroz-vermelho foram transformados para $yt = \sqrt{(y) + 0,5}$. Nas tabelas estão apresentados os valores originais e os valores transformados.

Resultados e discussão

Safra 2010/11

Houve interação entre épocas de semeadura e momentos de aplicação de herbicida para todas as variáveis analisadas, exceto para massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas (Tabela 1).

A área em que foi realizado o experimento apresentou variação do banco de sementes de arroz-vermelho de 237 a 2.533 sementes m^{-2} , sendo que o maior banco de sementes foi observado na área da primeira época de semeadura (30/09) e da terceira época de semeadura (08/11) (Tabela 2). Na semeadura do início do período recomendado (30/09 e 19/10) ocorreu menor emergência de arroz-vermelho quando comparado com a semeadura do final do período (08/11) e tardia (01/12) (Tabela 2), demonstrando que a época de semeadura desempenha papel fundamental no manejo do arroz-vermelho, através da menor emergência de arroz-vermelho na semeadura no início do período e, com isso, ocorre menor competição dessa planta daninha com o arroz irrigado e, conseqüentemente, menor redução do rendimento de grãos.

Essa resposta pode estar relacionada à dormência de sementes de arroz-vermelho, devido à imaturidade fisiológica do embrião logo que se desprende da planta mãe. Ele pode também apresentar impermeabilidade da cobertura a gases e/ou desequilíbrio de substâncias promotoras e inibidoras da germinação induzida durante o acúmulo de matéria seca das sementes (FILIO, 2005), associada à menor temperatura do ar (temperatura média em torno de 16°C) e do solo (temperatura média em torno de 18°C) ocorrida no início do período recomendado (Figura 1a), o que pode ter contribuído para inibir a germinação e a emergência de grande parte da população de arroz-vermelho presente na área.

Young-Son Cho (2010) avaliou o efeito de diferentes temperaturas diurnas e noturnas, representadas por 15/10, 20/15, 25/20 e 30/25°C, e encontrou em média menor percentual de germinação de arroz-vermelho em temperaturas mais baixas, sendo na temperatura de 25/20°C em que houve os maiores percentuais de germinação. Segundo o mesmo autor, o percentual e a velocidade de germinação aumentam com o aumento da temperatura. Gianinetti e Cohn (2008), em Lousiana, EUA, observaram germinação média de arroz-vermelho superior nas temperaturas de 20 a 35 °C em comparação às temperaturas de 1 a 15 °C, sendo que a temperatura ideal para desenvolvimento do arroz situa-se entre 25 °C e 30 °C

(YOSHIDA, 1981). Segundo Filho (2005), as sementes de arroz superam a dormência quando expostas a temperaturas elevadas e a rapidez da resposta é diretamente relacionada ao acréscimo de temperatura.

Tabela 1 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios (QM) do banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV), controle de arroz-vermelho (CAV), rendimento de grãos (RG), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (EE) na safra de 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.

FV	GL	Safra 2010/11				
		QM				
		BSAV	EAV	PDAV	RBAV	CAV
B(A)	12	141240,67*	0,67	19,11*	1,27	1,19
A	3	11277164,81*	90,68*	705,95*	92,16*	64,45*
D	3	614714,40*	1,64*	17,03*	2,52*	72,95*
A*D	9	415739,59*	2,71*	23,24*	3,81*	66,08*
Erro	36	59242,46	0,38	4,29	0,85	1,27
CV%		22,5	17,8	14,2	16,7	1,1
		RG	NP	NGP	MMG	EE
B(A)	12	395115,84	12980,50*	20,82	0,73	2,66
A	3	24700262,50*	214106,87*	192,99*	7,49*	25,30*
D	3	11866878,34*	11438,39*	98,82*	3,02*	11,76*
A*D	9	2657118,27*	22793,99*	125,66*	1,30 ^{ns}	5,29 ^{ns}
Erro	36	324184,36	3488,36	28,61	0,94	2,68
CV%		6,3	11,89	6,2	3,8	29,4

*Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo. B = bloco; A = épocas de semeadura; D = momentos de aplicação.

Temperaturas menores do que àquelas ideais (25 a 30 °C) podem ocasionar estresse por frio, o qual é considerado um dos estresses abióticos mais importantes em arroz, provocando alterações na germinação, porcentagem de plântulas normais, menor comprimento do coleóptilo, entre outras, principalmente por afetar a enzima esterase e desidrogenase, envolvidas na germinação de sementes (MERTZ et al., 2009).

Nas semeaduras realizadas no final do período recomendado e na época tardia, a velocidade de emergência do arroz-vermelho foi aumentada devido às temperaturas mais elevadas, as quais proporcionam rápida emergência das plântulas (NORSWORTHY & OLIVEIRA, 2007), sendo essa velocidade de emergência muito semelhante ao arroz irrigado. Isso implica em rápido estabelecimento dos biótipos (SHIVRAIN et al., 2009), aumentando o potencial de competição à cultura do arroz irrigado.

A maior emergência de arroz-vermelho no final do período recomendado (08/11) e na época tardia (01/12) proporcionou elevada redução do banco de sementes (Tabela 2), com redução de 54 a 91,6% na época tardia de semeadura. Essa redução do banco de sementes foi proporcionada pelo maior tempo para realizar dessecações das plântulas de arroz-vermelho que emergiam na área, com maior número médio de plântulas desseçadas 553 e 289 plântulas m^{-2} no final do período (08/11) e na época tardia (01/12), respectivamente, comparado com 109 e 71 plântulas m^{-2} no início do período 30/09 e 19/10, respectivamente (Tabela 2). Esta prática de semeadura no final do período recomendado e tardia pode ser uma alternativa importante para orientar a tomada de decisão quando se deseja utilizar a estratégia de reduzir o banco de sementes em áreas infestadas por arroz-vermelho.

Em relação ao controle químico do arroz-vermelho (Tabela 2), a aplicação em POS, bem como a aplicação em PRE + POS, foram eficientes, resultando em 100% de controle. A aplicação somente em PRE apresentou menor eficiência na época de 08/11, com controle de 86%, o que pode ser explicado pelo maior banco de sementes (mais sementes para uma mesma quantidade de herbicida) em comparação às áreas em que foram realizadas as semeaduras em 19/10 e 01/12, no qual o banco de sementes era menor. Além disso, na época 08/11, as condições de temperaturas do ar e do solo foram mais elevadas (Figura 1 a), o que favoreceu a germinação e emergência do arroz-vermelho. Essa eficiência de controle do tratamento em POS e PRE+POS está relacionada ao fato de que na área em que foi realizado o experimento não possuía presença de biótipos resistentes ao grupo químico das imidazolinonas, somado ao perfeito nivelamento superficial da área e ao manejo adequado da irrigação. Além disso, a elevada eficiência no controle proporcionada pela aplicação PRE + POS ou somente em POS deve-se ao fato de que os momentos de aplicação em POS foram realizados um dia antes da irrigação definitiva. Com isso, com o estabelecimento da lâmina de irrigação houve formação de um ambiente anaeróbico, o qual diminui um dos principais mecanismos de dissipação desses herbicidas do grupo das imidazolinonas que é a degradação microbiana (FLINT e WITT, 1997; MADANI et al., 2003; ALISTER & KOGAN, 2005).

Marchesan et al. (2010) também relataram que, na aplicação em POS, pode diminuir a biodegradação de herbicidas, devido à condição de anaerobiose que ocorre com o estabelecimento da lâmina de irrigação logo após a aplicação. Outro fator muito importante que pode ter contribuído para maior eficiência de controle nos tratamentos que receberam a aplicação em POS, é a auto-calagem (transformações químicas do solo decorrente do processo de redução), que ocorre após 15 a 20 dias da formação da lâmina de irrigação e eleva o pH dos solos ácidos, o que favorece a dissociação desses herbicidas, e torna as moléculas dos

herbicidas disponíveis para a absorção pelas plantas (AVILA et al., 2006). Isso ocorre, pois, devido à presença do ácido carboxílico e do grupo funcional básico da piridina, o imazapyr apresenta três valores de pKa (1,9, 3,6 e 11,4), sendo essa uma das características que tornam o comportamento desse herbicida no solo dependente do pH (FIRMINO et al., 2008). Além disso, estudo realizado com imazaquin por Oliveira et al. (2004) mostraram que, com aumento do pH, ocorre redução dos valores de K_d (coeficiente de partição solo água) em todos níveis (2 a 6%), de matéria orgânica estudadas, com isso a adsorção é reduzida devido ao predomínio de sua forma aniônica, ficando mais disponível na solução do solo.

No entanto, os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, quando aplicados em PRE, podem apresentar menor eficiência, pois podem ser degradados em maior quantidade pelos microrganismos do solo em comparação ao momento de aplicação em POS, visto que, na aplicação em PRE, o solo permanece por maior período de tempo em condição de aerobiose, o qual é favorável à biodegradação. Dessa forma, pode haver redução na concentração desses herbicidas no solo e, conseqüentemente, esses podem proporcionar menor eficiência de controle. Um dos fatores considerados mais importantes, pela menor eficiência destes herbicidas quando aplicados em PRE, é que em condição de pH mais baixo do solo, pode ocorrer adsorção de parte destes herbicidas aos colóides do solo (BRESNAHAM et al., 2000; MADANI et al., 2003; ALISTER e KOGAN, 2005; KRAEMER et al., 2009), o que diminui a eficiência de controle.

Corroborando ao estudo Marchesan et al. (2011), ao avaliarem o controle de arroz-vermelho com a utilização de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas imazethapyr (75 g L^{-1}) + imazapic (25 g L^{-1}) (mistura pronta) na dose recomendada para o Brasil, não encontraram diferenças entre a aplicação em PRE + POS da aplicação somente em POS. Villa et al. (2006) também avaliaram o controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz irrigado, utilizando os herbicidas das imidazolinonas na dose (75 g L^{-1}) de imazethapyr + (25 g L^{-1}) de imazapic, verificaram que a aplicação fracionada do herbicida (PRE + POS) utilizando 75% da dose em PRE seguido de 50% em POS foi a que proporcionou melhor controle sem causar perdas de rendimento de grãos. Santos et al. (2007) avaliaram a eficiência de controle de arroz-vermelho proporcionada pela utilização da mistura formulada (75 g L^{-1} de imazethapyr + 25 g L^{-1} de imazapic). Eles observaram que a aplicação de $52,5\text{ g ha}^{-1}$ de imazethapyr + $17,5\text{ g ha}^{-1}$ de imazapic em PRE, seguida da mesma dose em POS, é mais eficiente quando comparado à aplicação 75 g ha^{-1} de imazethapyr + 25 g ha^{-1} de imazapic somente em PRE, ou somente em POS.

Tabela 2 – Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), número de plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV) e controle de arroz-vermelho (CAV) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.

Épocas de semeadura	Momento de aplicação			
	Testemunha sem aplicação	PRE [#]	PRE + POS	POS
-----Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV) (sementes m ⁻²)-----				
30/09/10	2533 Aa	2179ABa	1653 Cb	1842 BCa
19/10/10	237 ^{NS} d	342 c	247 c	269 c
08/11/10	1704 Ab	1159 Bb	2137 Aa	1017 Bb
01/12/10	779 Ac	422 ABc	525 ABc	262 Bc
Média	1313	1025	1140	847
CV %	22,5			
-----Emergência de arroz-vermelho (EAV) (%) ¹ -----				
30/09/10	1,1(0,8) ^{*NS} c	1,1(0,8) c	2,0(3,6) c	1,6(2,2) c
19/10/10	1,5(2,6) Bbc	1,8(3,2) Bc	3,1(10,3) Abc	2,1(5,1) ABc
08/11/10	7,9(63,8) Aa	6,5(41,6) BCa	5,6(30,6) Ca	7,3(53,9) ABa
01/12/10	2,5(5,9) Bb	3,3(11,1) ABb	3,4(11,8) ABb	4,5(19,8) Ab
Média	18,2	14,1	14,0	20,2
CV %	17,8			
-----Plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV) (plantas m ⁻²) ² -----				
30/09/10	8,9(83) ^{NS} b	9,8(97) b	10,9(121) c	11,4(133) c
19/10/10	8,3(72) ^{NS} b	7,6(57) b	10,4(108) c	6,9(48) d
08/11/10	19,7(399) Ba	19,4(393) Ba	27,0(765) Aa	25,5(654) Aa
01/12/10	18,7(355) ^{NS} a	17,7(315) a	15,3(244) b	15,4(241) b
Média	227	215	309	269
CV %	14,2			
-----Redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV) (%) ³ -----				
30/09/10	2,2(4,4) ^{NS} c	2,3(4,9) c	2,8(7,3) b	2,6(6,4) c
19/10/10	5,7(33,8) ABb	4,8(23,6) Bb	6,7(44,9) Aa	4,3(19,1)Bc
08/11/10	4,6(22,2) Bb	5,7(33,0) ABb	5,9(35,3) ABa	7,3(54,7) Ab
01/12/10	7,6(59,0) Ba	8,7(77,3) ABa	7,4(54,0) Ba	9,6(91,6) Aa
Média	30	35	35	43
CV %	16,7			
-----Controle de arroz-vermelho (CAV) (%)-----				
30/09/10	-	99 ^{NS} a	100 ^{ns}	100 ^{ns}
19/10/10	-	100 ^{NS} a	100	100
08/11/10	-	86 Bb	100 A	100 A
01/12/10	-	100 ^{NS} a	100	100
Média		96	100	100
CV %	1,1			

*As variáveis que possuem valores entre parêntesis, esses indicam valores originais; médias não seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo na linha; ^{ns} não significativo na coluna; ¹porcentagem de emergência de arroz-vermelho em relação ao banco de sementes da aplicação em PRE até a aplicação em POS; ²número de plantas dessecadas de arroz-vermelho do dia 23/09/2010 até a data de semeadura de cada época; ³redução do banco de sementes em relação ao banco de sementes de arroz-vermelho. [#]As doses de imazapyr+imazapic foram: 105+35 g ha⁻¹ (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ e 52,5+17,5 g ha⁻¹ (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ (POS).

A época de semeadura também interferiu no rendimento de grãos do arroz irrigado (Tabela 3), com maior rendimento de grãos na primeira época (30/09), variando de 9.752 kg ha⁻¹ quando não foi realizado controle químico do arroz-vermelho a 11.258 kg ha⁻¹ quando foi realizado controle. O maior rendimento de grãos ocorrido nessa época de semeadura pode estar relacionado à coincidência do período mais responsivo da planta (floração e enchimento de grãos) com o período de maior disponibilidade de radiação solar nos meses de dezembro e janeiro (Figura 1c), o que se refletiu em maior número de panículas, maior massa de mil grãos e menor esterilidade de espiguetas em relação à época de semeadura no final do período recomendado e tardia (Tabela 3). Na semeadura realizada na época tardia (01/12), o rendimento foi 22% menor comparado à semeadura de 30/09, equivalente a uma redução de 38 kg ha⁻¹ dia⁻¹ na média dos tratamentos PRE, PRE+POS e POS.

Esses resultados corroboram com o trabalho realizado no Estado do Rio Grande do Sul por Freitas et al. (2008), em que obtiveram maior número de panículas e maior rendimento de grãos quando o arroz foi semeado no início de novembro (02/11) em relação à época tardia (09/12). Além da época de semeadura, outro fator que interferiu no rendimento de grãos foi a presença de arroz-vermelho. Comparando a primeira época de semeadura (30/09) com as demais épocas, observa-se redução de 11, 52 e 22% no rendimento quando não foi realizado controle químico (Tabela 3) para a segunda (19/10), terceira (08/11) e quarta época (01/12), respectivamente. Isso porque ocorreu maior emergência de arroz-vermelho a partir da primeira época de semeadura.

A maior redução no rendimento de grãos da terceira época de semeadura está relacionada à maior presença de arroz-vermelho na área, quando comparada à segunda e à quarta época. Esses resultados mostram o grande potencial de competição do arroz-vermelho para com o arroz cultivado. Segundo Fischer e Ramirez (1993), a presença de 24 panículas m⁻² de arroz-vermelho pode causar perda de 50% no rendimento de grãos de arroz irrigado.

De maneira geral, para essa safra, a época de semeadura afetou o rendimento de grãos da cultura, com maior rendimento de grãos quando a semeadura foi realizada no início da época recomendada (30/09), devido, possivelmente, às melhores condições de temperatura e radiação solar durante o período reprodutivo da cultura. No entanto, da segunda época (19/10) até à quarta época (01/12) não houve redução significativa no rendimento de grãos, pois os valores médios da temperatura mínima do ar foram 25, 23 e 21°C para os meses de janeiro, fevereiro e março (período reprodutivo da cultura), respectivamente, e os valores médios máximos para esses meses foram 26, 24 e 23°C (Figura 1 a), respectivamente, não

comprometendo a fertilidade de espiguetas e, conseqüentemente, o rendimento de grãos da cultura.

Tabela 3 – Rendimento de grãos (RG) (kg ha⁻¹), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (EE) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2010/11. Santa Maria, RS. 2013.

Épocas de semeadura	Momento de aplicação			
	Testemunha sem aplicação	PRE [#]	PRE + POS	POS
-----Rendimento de grãos (RG) (kg ha ⁻¹)-----				
30/09/10	9752 Ba	10650 ABa	11258 Aa	10654 ABa
19/10/10	8658 ^{NS} b	8973 b	9469 b	9602 ab
08/11/10	4689 Bc	8718 Ab	8723 Ab	8786 Abc
01/12/10	7621 Bb	8219ABb	8881 Ab	8435 ABc
Média	7680	9140	9583	9369
CV %	6,3			
-----Número de panículas (NP) (m ⁻²)-----				
30/09/10	643 ^{NS} a	571 a	671 a	650 a
19/10/10	528 ABb	569 Aa	448 Bb	482 ABb
08/11/10	466 Ab	229 Bb	279 Bc	428 Ab
01/12/10	487 ^{NS} b	565 a	479 b	454 b
Média	531	483,5	287,9	503
CV %	11,89			
-----Número de grãos por panícula (NGP)-----				
30/09/10	73 Bc	86 Aa	82 AB ^{ns}	87 A ^{ns}
19/10/10	94 ^{NS} a	86 a	89	86
08/11/10	81 ABbc	74 Bb	90 A	89 A
01/12/10	85 ^{NS} ab	88 a	86	90
Média	83	83	86	88
CV %	6,2			
Épocas de semeadura			--MMG (g)--	--EE %--
30/09/10			26 a	4,1 c
19/10/10			26 a	4,9 bc
08/11/10			24 b	6,9 a
01/12/10			25 b	6,4 ab
Momento de aplicação				
Testemunha sem aplicação			25 ab	5,5 ab
PRE			26 a	4,9 b
PRE + POS			25 ab	5,0 b
POS			24 b	6,8 a
Média			25	5,5
CV %			3,8	9,4

Médias não seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ^{NS} não significativo na linha; ^{ns} não significativo na coluna. [#]As doses de imazapyr+imazapic foram: 105+35 g ha⁻¹ (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ e 52,5+17,5 g ha⁻¹ (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ (POS).

No entanto, o menor acúmulo de radiação solar durante o período reprodutivo da cultura dessas épocas de semeadura pode explicar o menor rendimento quando comparado à primeira época (30/09).

Safra 2011/12

Nesta safra, ocorreu interação entre a época de semeadura e o momento de aplicação de herbicida para banco de sementes, emergência de arroz-vermelho, número de plântulas dessecadas de arroz-vermelho, rendimento de grãos e número de panículas m^{-2} (Tabela 4). Houve diminuição do banco de sementes de arroz-vermelho (Tabela 5) da área em relação à safra 2010/11, com variação do banco de 62 a 1.791 sementes m^{-2} , sendo o maior banco de sementes na área da primeira (27/09) e terceira (08/11) época de semeadura.

De maneira geral, exceto para a testemunha sem aplicação de herbicida, os resultados de emergência de arroz-vermelho (Tabela 5) seguem comportamento semelhante à safra 2010/11. A emergência de arroz-vermelho aumentou com o atraso da época de semeadura, com emergência média de 4 e 18% no início do período recomendado (27/09 e 17/10), respectivamente, e, 35 e 26% de emergência no final do período (08/11) e na época tardia (05/12), respectivamente. A menor emergência de arroz-vermelho no início do período recomendado em comparação a época ao final do período e tardia pode estar relacionada às temperaturas mais baixas no início do período (Figura 1b), sendo a temperatura do ar em torno de 15°C a média mínima e 25°C a média máxima e a do solo em torno de 20°C a média, podendo as sementes de arroz-vermelho terem sido induzidas à dormência secundária, pois, Gianinetti & Cohn (2008) em Louisiana, avaliando a germinação de sementes de arroz-vermelho submetidas a diferentes condições de temperatura encontraram parte da população de sementes de arroz-vermelho induzida à dormência secundária aos 15°C. Segundo os autores, a porcentagem de sementes que são induzidas à dormência secundária diminui com o aumento da temperatura (15 a 25°C), sendo que, na temperatura ótima para germinação (30°C), os biótipos possuíam mínima dormência, explicando em parte os resultados encontrados. Já a maior emergência de arroz-vermelho no final do período e na época tardia pode estar relacionada às temperaturas mais elevadas ocorridas nesse período (Figura 1b), pois, com o aumento da temperatura, os processos de germinação ocorrem mais rápido do que a indução à dormência (GIANINETTI & COHN, 2008).

Tabela 4 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios do banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV), controle de arroz-vermelho (CAV), rendimento de grãos (RG), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (EE) na safra de 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

FV	GL	Safrá 2011/12				
		QM				
		BSAV	EAV	PDAV	RBAV	CAV
B(A)	12	56,48	2,38	1,12	1,96	1,66
A	3	1792,70*	28,02*	244,21*	129,87*	1,45 ^{ns}
D	3	405,20*	3,44 ^{ns}	23,51*	1,62 ^{ns}	1,88 ^{ns}
A*D	9	73,07*	3,85*	6,48*	2,48 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Erro	36	33,79	1,58	3,21	1,96	1,65
CV%		28,1	30,4	26,4	33,2	1,2
		RG	NP	NGP	MMG	EE
B(A)	12	315332,68	4011,78	67,96	1,11	2,66
A	3	4913070,01*	40796,55*	2677,80*	13,45*	36,61*
D	3	6829406,68*	11385,75*	109,12 ^{ns}	2,64*	2,78 ^{ns}
A*D	9	2095265,29*	6284,66*	105,79 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,95 ^{ns}
Erro	36	240082,29	2630,85	77,23	0,82	2,82
CV%		5,9	10,2	13,9	3,8	22,4

*Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo. B = bloco; A = épocas de semeadura; D = momentos de aplicação.

Já para o tratamento sem a aplicação de herbicida (testemunha), nesta safra não houve diferença de emergência de arroz-vermelho entre as épocas de semeadura, ocorrendo elevada emergência mesmo na semeadura do início do período recomendado (27/09). Isso pode estar relacionado ao fato de que na safra 2010/11 não foi realizado controle das plantas de arroz-vermelho neste tratamento (testemunha sem aplicação de herbicida e sem capina), realimentando o banco de sementes de arroz-vermelho. Além disso, nesta safra, as sementes de arroz-vermelho resultantes da safra 2010/11 ficaram na superfície do solo pois, diferentemente da safra 2010/11, em que o sistema de cultivo utilizado foi o cultivo mínimo com preparo do solo após a colheita, nesta safra o sistema utilizado foi o de semeadura direta, não havendo assim incorporação das sementes no perfil do solo. Com isso, as sementes de arroz-vermelho permaneceram na superfície do solo, ficando mais expostas às condições meteorológicas, tais como temperatura, umidade e oxigênio, entre outros fatores, que podem ter contribuído para a superação da dormência e consequentemente levado à germinação de sementes. Fogliatto et al. (2011) avaliaram a germinação de uma população de arroz-

vermelho armazenada em diferentes condições a campo e observaram que as sementes armazenadas na superfície do solo apresentaram rápida liberação de dormência e germinação. Nos Estados Unidos, Noldin et al. (2006) encontraram maior porcentagem de dormência das sementes de arroz-vermelho nas sementes enterradas a 12cm de profundidade em comparação às sementes expostas à superfície do solo.

Para as variáveis redução do banco de sementes de arroz-vermelho e controle de arroz-vermelho não houve interação entre épocas de semeadura e momentos de aplicação de herbicida (Tabela 4). Para todas as épocas de semeadura, ocorreu redução do banco de sementes de arroz-vermelho (Tabela 5), com menor redução nas épocas de semeadura realizadas no início do período recomendado e maior ao final do período e na época tardia, sendo esse comportamento semelhante ao ocorrido na safra 2010/11. Essa maior redução do banco de sementes de arroz-vermelho na época mais ao final do período e tardia deve-se fundamentalmente, ao maior período de tempo para controlar as plântulas que emergiram no período. Nas épocas de semeaduras realizadas no início do período (27/09 e 17/10) foram dessecadas, na média dos tratamentos, 15 e 10 plântulas m^{-2} , respectivamente, ao passo que no final do período (08/11) e tardia (05/12), esse número foi de 139 e 78 plântulas m^{-2} , respectivamente, o que contribui para maior redução do banco de sementes (Tabela 5).

Já para o controle químico (Tabela 5), não houve diferença significativa de controle entre os momentos de aplicação PRE, PRE+POS e POS, com média de controle de 99,7% entre os momentos de aplicação. Assim como na safra 2010/11, essa eficiência de controle deve-se ao manejo adequado da irrigação e ao fato de que os biótipos de arroz-vermelho presentes na área não são resistentes ao grupo de herbicidas das imidazolinonas. Além disso, nesta safra, havia menor quantidade de sementes de arroz-vermelho no banco de sementes em comparação à safra 2010/11 para uma mesma quantidade de herbicida, explicando em parte a eficiência de controle no momento de aplicação apenas em PRE. No entanto, em números absolutos, observou-se controle reduzido no momento de aplicação em PRE, o que pode em parte estar associado à adsorção de parte desses herbicidas ao solo. Com isso, parte dos herbicidas pode ter ficado adsorvida ao solo, não estando disponível para absorção pelas plantas (OLIVEIRA et al., 2004). Corroborando os resultados da safra 2010/11, a época de semeadura interferiu no rendimento de grãos (Tabela 6), com maior rendimento de grãos na semeadura de 27/09, sendo essa a melhor época de semeadura e menor na semeadura de 05/12, com média de rendimento de grãos dos tratamentos PRE, PRE+POS e POS de 9.213 e 7.516 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente, uma redução de 18,4%, equivalente a 25 $kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$.

Tabela 5 – Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV), emergência de arroz-vermelho (EAV), plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV), redução do banco de sementes de arroz-vermelho (RBAV) e controle de arroz-vermelho (CAV) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix® (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

Épocas de semeadura	Momento de aplicação			
	Testemunha sem aplicação	PRE [#]	PRE + POS	POS
-----Banco de sementes de arroz-vermelho (BSAV) (sementes m ⁻²)-----				
27/09/11	1787 Aa	906 Ba	956 ABa	853 Ba
17/10/11	275 ^{NS} b	269 bc	112 bc	200 b
08/11/11	1791 Aa	687 Bab	384 Bb	462 Bab
05/12/11	159 ^{NS} b	100 c	62 c	97 b
Média	1003	490	378	403
CV %			28,1	
-----Emergência de arroz-vermelho (EAV) (%) ¹ -----				
27/09/11	3,9(16,7) ^{*NSns}	1,8(3,5) b	2,5(4,8) b	1,8(3,2) b
17/10/11	3,1(10,7) ^{NS}	2,6(6,6) b	4,8(23,5) a	4,7(25,1) a
08/11/11	5,0(24,6) ^{NS}	6,2(39,5) a	5,7(34,6) a	5,4(31,0) a
05/12/11	3,9(16,0) AB	3,6(16,6) Bb	6,0(36,5) Aa	4,9(25,4) ABa
Média	17,0	16,5	24,8	21
CV %			30,4	
-----Plantas dessecadas de arroz-vermelho (PDAV) (plantas m ⁻²) ² -----				
27/09/11	4,8(24) ^{NS} b	3,6(10) c	3,3(12) b	3,9(15) b
17/10/11	3,9(15) ^{NS} b	3,0(10) c	3,7(13) b	2,0(3) b
08/11/11	14,2(214) Aa	12,0(152) Aa	8,1(67) Ba	11,0(124) ABa
05/12/11	11,3(129) Aa	7,2(51) Bb	8,4(71) ABa	7,7(60) Ba
Média	95	55	40	50
CV %			26,4	
Épocas de semeadura			RBAV (%) ³	CAV (%)
27/09/11			1,3(1,5) d	99,8 ^{ns}
17/10/11			2,7(9,7) c	99,2
08/11/11			4,8(26,3) b	99,9
05/12/11			7,9(63,4) a	100
Momento de aplicação				
Testemunha sem aplicação			3,9(22,5) ^{ns}	-
PRE			4,2(23,5)	99,3 ^{ns}
PRE + POS			4,7(25,6)	100
POS			4,0(29,4)	100
Média			25,2	99,7
CV %			33,2	1,2

* As variáveis que possuem valores entre parêntesis, esses indicam valores originais; médias não seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo na linha; ^{ns} não significativo na coluna; ¹ porcentagem de emergência de arroz-vermelho em relação ao banco de sementes da aplicação em PRE até a aplicação em POS; ² número de plantas dessecadas de arroz-vermelho do dia 20/09/2011 até a data de semeadura de cada época; ³ redução do banco de sementes em relação ao banco de sementes de arroz-vermelho. [#] As doses de imazapyr+imazapic foram: 105+35 g ha⁻¹ (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ e 52,5+17,5 g ha⁻¹ (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ (POS).

Esses resultados estão atrelados a maior número de grãos por panícula, maior massa de 1.000 grãos e menor esterilidade de espiguetas ocorrida na semeadura de 27/09 (Tabela 6), devido às melhores condições de temperatura do ar e radiação solar durante o período reprodutivo (Figura 1 b, d) comparado com as condições meteorológicas da última época (05/12).

Tabela 6 – Rendimento de grãos (RG) (kg ha⁻¹), número de panículas (NP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (MMG) e esterilidade de espiguetas (EE) em função da época de semeadura e do momento de aplicação do herbicida Kifix[®] (imazapyr+imazapic) na cultivar Puitá Inta-CL. Safra 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

Épocas de semeadura	Momento de aplicação			
	Testemunha sem aplicação	PRE [#]	PRE + POS	POS
-----Rendimento de grãos (RG) (kg ha ⁻¹)-----				
27/09/11	6973 Bbc	9237 Aa	9268 Aa	9135 Aa
17/10/11	8625 ABa	8031 Bbc	8451 ABa	9091 Aa
08/11/11	6228 Bc	8761 Aab	8996 Aa	8805 Aa
05/12/11	7168 ^{NS} b	7538 c	7196 b	7814 b
Média				
CV %		5,9		
-----Número de panícula (NP) (m ⁻²)-----				
27/09/11	494 ^{NS} a	498 ab	508 ab	507 b
17/10/11	531 ABa	507 Ba	565 ABa	623 Aa
08/11/11	372 Bb	407 Bb	425 Bb	529 Aab
05/12/11	529 ^{NS} a	505 a	486 ab	488 b
Média	482	479	496	537
CV %		10,2		
Épocas de semeadura	--NGP--	--MMG (g)--	--EE %--	
27/09/11	74 a	24 a	7 bc	
17/10/11	51 b	25 a	8 ab	
08/11/11	75 a	24 a	6 c	
05/12/11	53 b	22 b	9 a	
Momento de aplicação				
Testemunha sem aplicação	60 ^{ns}	24 ab	7 ^{ns}	
PRE	62	24 a	7	
PRE + POS	63	23 b	7	
POS	66	24 ab	8	
Média	63	24	7	
CV %	13,9	3,8	22,4	

Médias não seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo na linha; ^{ns} não significativo na coluna. [#]As doses de imazapyr+imazapic foram: 105+35 g ha⁻¹ (PRE); 52,5+17,5 g ha⁻¹ e 52,5+17,5 g ha⁻¹ (PRE+POS); e 105+35 g ha⁻¹ (POS).

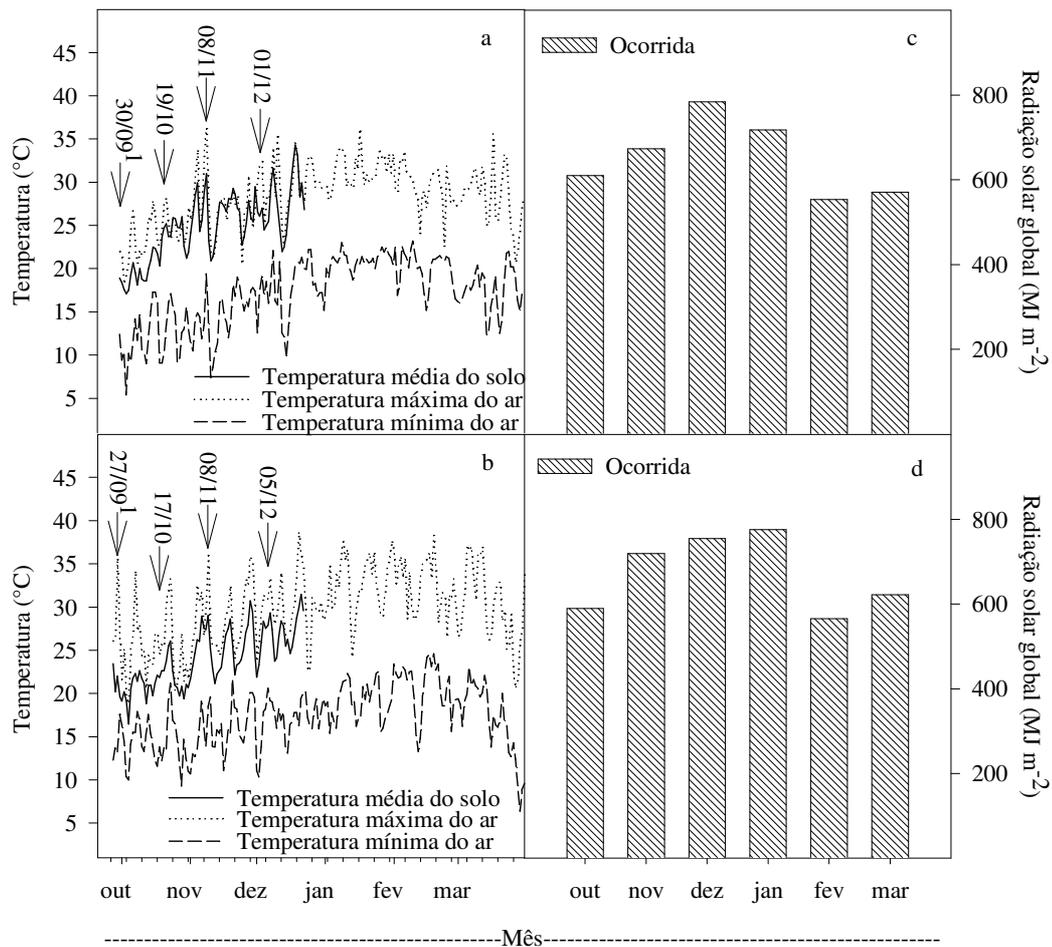


Figura 1 – Temperatura média do solo aos 3 cm de profundidade, temperatura máxima do ar e temperatura mínima do ar (Figura 1 a, safra 2010/11) e (Figura 1 b, safra 2011/12), e radiação solar global ocorrida na safra 2010/11 (Figura 1 c) e na safra 2011/12 (Figura 1 d). Santa Maria, RS, 2013. ¹ Épocas de semeadura.

Em trabalhos realizados por Islam & Morison (1992), Yang et al. (2008) e Lack et al. (2012) também encontraram resposta positiva no rendimento de grãos do arroz com o aumento da temperatura do ar e radiação solar acumulada. Segundo Katsura et al. (2008), o elevado rendimento de grãos é resultado da elevada acumulação de biomassa e nitrogênio que ocorre com a elevada disponibilidade de radiação solar.

Assim, a época de semeadura é uma das práticas de manejo mais importantes na cultura do arroz irrigado. Entretanto, o uso isolado dessa prática pode não ser uma estratégia importante no controle de arroz-vermelho, devendo-se, então, associar a época de semeadura a condições de temperatura que dificultam a emergência de arroz-vermelho no momento da semeadura até à irrigação definitiva do arroz. Possibilitando-se, dessa forma, menor

emergência de arroz-vermelho, além de fazer coincidir o período reprodutivo da planta com as melhores condições de clima.

Conclusão

A semeadura no início da época recomendada proporciona maior rendimento de grãos de arroz com pequena redução do banco de sementes de arroz-vermelho. Por outro lado, semeadura realizada ao final da época recomendada e na época tardia proporciona maior redução do banco de sementes de arroz-vermelho, com redução do rendimento de grãos do arroz. A aplicação de imazapyr+imazapic na dose de 52,5+17,5 g ha⁻¹ em PRE + 52,5+17,5 g ha⁻¹ em POS; e 105+35 g ha⁻¹ somente em PRE e POS foi eficiente no controle de arroz-vermelho.

Referências bibliográficas

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

AVILA, L.A. et al. Imazethapyr aqueous photolysis, reaction quantum yield, and hydroxyl radical rate constant. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.7, p.2635–2639, 2006.

BRESNAHAN, G.A. et al. Influence of Soil pH-Sorption Interactions on Imazethapyr Carry-over. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.48, n.5, p.1929–1934, 2000

BURGOS, N.R. et al. Red Rice (*Oryza sativa*) Status after 5 Years of Imidazolinone-Resistant Rice Technology in Arkansas. **Weed Technology**, v.22, n.1, p.200–208, 2008

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective and adaptive system for expressing Rice development. **Crop Science Society of America**, v.40, n.2, p.436–443, 2000

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 2006. 412 p.

FILHO, J.M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.
FIRMINO, L.E. et al. Sorção do imazapyr em solos com diferentes texturas. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.395-402, 2008.

FISCHER, A.J., RAMIREZ, A. Red Rice (*Oryza sativa*): competition studies for management decisions. **International Journal of Pest Management**, v.39, n.2, p.133-138. 1993

FOGLIATTO, S. et al. Germination of Weedy Rice in Response to Field Conditions during Winter. **Weed Technology**, v.25, n.2, p.252-261, 2011

FREITAS, T.F.S. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2397-2405, 2008

GEALY, D.R. Emergence of red rice (*Oryza sativa*) ecotypes under dry-seeded rice (*Oryza sativa*) culture. **Weed Technology**, v.14, n.2, p.406-412, 2000

GIANINETTI, A.; COHN, M.A. Seed dormancy in red rice. XIII: Interaction of dry- afterripening and hydration temperature. **Seed Science Research**, v.18, n.3, p.151-159, 2008

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Capturado em 01 out. 2010 a 01 abr. 2012. Online. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>

ISLAM, M.S.; MORISON, J.I.L. Influence of solar radiation and temperature on irrigated rice grain yield in Bangladesh. **Field Crops Research**, v.30, n.1-2, p.13-28, 1992

JAGADISH, S.V.K.; CRAUFURD, P.Q.; WHEELER, T.R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.7, p. 1627-1635, 2007

KATSURA, K. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China ‘A cross-location analysis. **Field Crops Research**, v.107, n.1, p.1-11, 2008

KRAEMER, A.F. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solo de várzea sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, v.27, n.3, p.581-588, 2009

LACK, S.; MARANI, N.M; MOMBENI, M. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars. **Advances in Environmental Biology**, v.6, n.1, p.406-413, 2012

MADANI, M.E. et al. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.12, n.9, p. 1114–1119, 2003

MARCHESAN, E. et al. Carryover of imazethapyr and imazapic to notolerant rice. **Weed Technology**, v.24, n.1, p.6-10, 2010

MARCHESAN, E. et al. Produtividade, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho na sucessão de cultivo de arroz irrigado no Sistema CLEARFIELD[®], **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.17-24, 2011

MERTZ, L.M. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.2, p.254-262, 2009

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. p. 41.

NOLDIN, J.A; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Seed longevity of red Rice ecotypes buried in soil. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 611-620, 2006

NORSWORTHY, J.K.; Oliveira, M.J. A model for predicting common cocklebur (*Xanthium strumarium*) emergence in soybean. **Weed Science**, v.55, n.4, p.341-345, 2007

OLIVEIRA, M.F. de. et al. Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.39, n.8, p.787-793, 2004

RANG, Z.W. et al. Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in Rice. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, n.1, p.58-65, 2011

SANTOS, F.M. et al. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p. 405-412, 2007

SHIVRAIN, V.K. et al. Red Rice (*Oryza sativa*) Emergence Characteristics and Influence on Rice Yield at Different Planting Dates. **Weed Science**, v.57, n.1, p.94-102, 2009

SLATON, N. A. et al. Seeding date effect on rice grain yields in Arkansas and Louisiana. **Agronomy journal**, v.95, n.1, p.218-223, 2003

VILLA, S.C.C. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.549-555, 2006

FLINT, J.L.; WITT, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.45, n.4, p.586-591, 1997

YANG, W. et al. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice. **Field Crops Research**, v.105, n.3, p.221-227, 2008

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269 p.

YOUNG-SON CHO. Germination Characteristics of Korean and Southeast Asian Redrice (*Oryza sativa* L.) Seeds as Affected by Temperature. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.2, p.104-107, 2010

4 CAPÍTULO II

EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE SEMEADURA

Resumo

Uma das práticas desafiadoras de manejo é aumentar a produtividade de arroz utilizando menos água. O experimento foi realizado nas safras de 2010/11 e 2011/12 na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O objetivo foi avaliar o rendimento de grãos e a eficiência do uso da água na semeadura no início da época recomendada e na época tardia. Os tratamentos foram as épocas de semeadura 01/10/10 e 01/12/10 (safra 2010/11), e 27/09/11 e 07/12/11 (safra 2011/12), com cinco repetições, e a cultivar utilizada foi a IRGA 424. Não houve diferença no volume de água aplicado entre as épocas de semeadura, com volume médio de 5757 e 8420 m³ ha⁻¹, respectivamente para safra 2010/11 e 2011/12. A época de semeadura afetou o rendimento de grãos, com rendimento de 13 e 24% a mais nas semeaduras do início da época (01/10/10 e 27/09/11) comparado as semeaduras nas épocas tardias (01/12/10 e 07/12/11), respectivamente. A semeadura realizada no início da época recomendada (início de outubro) proporciona maior rendimento de grãos e maior eficiência no uso da água.

Palavras-chave: precipitação pluvial, radiação solar, potencial produtivo, *Oryza sativa*.

Abstract

One of the challenging management practices is to increase rice production using less water. The study was conducted during the harvest of 2010/11 and 2011/12 in the

experimental field of Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul State. The objective was to evaluate the yield and water use efficiency at sowing at the beginning of the recommended period and at late sowing. Treatments were at planting dates (10/01/10 and 12/01/10) 2010/11 harvest, and (9/27/11 and 12/07/11) 2011/12 harvest, with five replicates, the cultivar used was the IRGA 424. There was not difference in the amount of applied water between sowing times, with an average of 5757 and 8420 m³ ha⁻¹, respectively for season 2010/11 and 2011/12. The sowing date affected grain yield, with yields of 13 and 24% more in the beginning of the sowing season (10/01/10 and 9/27/11) compared to the late sowing (12/01/10 and 12/07/11), respectively. Sowing early in the recommended period (early october) provides greater yield and more water use efficiency.

Key words: rainfall, solar radiation, potential yield, *Oryza sativa*.

Introdução

O arroz irrigado é assunto em vários debates envolvendo conservação de água em nível mundial, por estar entre as espécies que mais utilizam irrigação e por ser classificada como muito exigente quanto ao uso de água durante o ciclo de desenvolvimento (NOLDIN et al., 2001; MACHADO et al., 2006). Diante da preocupação com a produção de alimentos e a crise mundial da água, elevar a eficiência de uso de água é uma meta de extrema importância para sustentabilidade da produção de arroz.

Estratégias visando maior eficiência de uso da água pelo arroz estão sendo estudadas em diversas partes do mundo por diversos pesquisadores (TOESCHER et al., 1997; BOUMAN & TUONG, 2000; MACHADO et al., 2006; AHMAD et al., 2008; JALOTA et al., 2009; MAHAJAN et al. 2009; YAO et al., 2012). Entre as estratégias, está o uso de diferentes sistemas de irrigação (contínuo e intermitente), densidades de plantas, cultivares de diferentes ciclos (curto, médio e tardio), híbridas e convencionais, diferentes momentos de supressão da irrigação e épocas de semeadura do arroz. A maioria dessas estratégias é eficaz, porém algumas delas apresentam certas restrições à sua utilização, pelo aumento de custos e necessidade de precisão no controle da água de irrigação e diminuição no rendimento de grãos. No entanto, o desafio é produzir mais alimento com menos água, o que, de acordo com

Haefele et al. (2009), pode ser alcançado reduzindo as perdas de água por evaporação, percolação e escoamento.

A época de semeadura do arroz irrigado, associada às condições meteorológicas como temperatura e radiação solar, constitui-se em um dos fatores relacionados ao rendimento de grãos do arroz (SLATON et al., 2003; LINScombe et al., 2004, FREITAS et al., 2008; AKBAR et al., 2010; LACK et al., 2012) e pode trazer benefícios em termos de redução da quantidade e aumento da eficiência do uso de água da lavoura, pois, em semeaduras realizadas no início do período recomendado (outubro), normalmente as precipitação pluviiais são maiores e as perdas de água por evaporação são menores, pois a radiação solar e a temperatura do ar são mais baixas quando comparado com semeaduras realizadas na época tardia (dezembro). Mahajan et al. (2009), avaliando diferentes épocas de semeadura no rendimento de grãos e no uso de água do arroz, no estado de Punjab, noroeste da Índia, em que o clima da região é semi-árido, com precipitação média anual de 400 a 700 mm, encontraram maior eficiência no uso de água na semeadura realizada no início da época (15 de junho), comparado com 25 de junho e 05 de julho. Como as regiões produtoras de arroz são distintas em termos de disponibilidade climática, há necessidade de se conhecer melhor os efeitos de época de semeadura do arroz, no rendimento de grãos e no uso de água nas condições do Rio Grande do Sul, para que se possa manejar a lavoura de forma sustentável, com menor custo e mínimo impacto ao ambiente.

Em vista disso, o objetivo foi avaliar o rendimento de grãos e a eficiência do uso da água na semeadura no início da época recomendada e na época tardia para a Depressão Central do Rio Grande do Sul, uma das regiões orizícolas de grande relevância desse estado.

Material e métodos

O experimento foi realizado na safra agrícola de 2010/11 e 2011/12, na área experimental de várzea da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí. Na área em que foi realizado o experimento, o horizonte A variou de 0 a 0,2 m e o Bt de 0,2 a 0,4 + m, segundo metodologia proposta por SANTOS et al. (2005). Os

tratamentos foram constituídos de épocas de semeadura 01/10/10 e 01/12/10 (safra 2010/11) e 27/09/11 e 07/12/12 (safra 2011/12), com cinco repetições.

A cultivar utilizada foi a IRGA 424, o qual possui ciclo de 132 dias. A semeadura foi realizada na quantidade de 90 kg ha^{-1} de semente, com espaçamento de 0,17 m, no sistema de cultivo mínimo, o qual consistiu de preparo antecipado da área e após houve formação de cobertura vegetal, sendo essa dessecada com glyphosate na dose de $1,08 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$, em área sistematizada. A adubação de base foi de 15 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 90 kg ha^{-1} de K_2O , conforme indicação da análise de solo. O N foi aplicado na quantidade de 150 kg ha^{-1} , dividido nas quantidades de 15 kg ha^{-1} por ocasião da semeadura, 90 kg ha^{-1} no perfilhamento (V3/V4) e 45 kg ha^{-1} na iniciação da panícula (R0) segundo escala de Counce et al. (2000). Os demais tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura (SOSBAI, 2010).

O volume de água aplicado foi avaliado com medidor de vazão com diâmetro nominal de 4". Para quantificar o volume, as parcelas de aproximadamente 28 m^2 de área foram isoladas com taipas ronda de altura média de 0,6 m, e a entrada de água foi individualizada para cada parcela. O sistema de irrigação utilizado foi o contínuo, com a irrigação de cada parcela formando lâmina de água de aproximadamente de 0,1 m, mas, após deixou-se evapotranspirar até aproximadamente 0,02 m de lâmina, com objetivo de armazenar a água, em eventuais precipitações. A irrigação foi suspensa aos 15 dias após a floração plena (R2), aproximadamente 112 dias após a semeadura. Com a finalidade de evitar as perdas de água por infiltração lateral, foi mantida água entorno das parcelas por meio de taipas de contenção, mantendo assim a mesma carga hidráulica em todas as parcelas.

O rendimento de grãos foi avaliado pela colheita de $4,5 \text{ m}^2$ de área útil em cada parcela, quando os grãos se encontravam com grau de umidade médio de 22%. Após a trilha, limpeza e pesagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos em kg ha^{-1} . O número de panículas m^{-2} foi determinado uma semana antes da colheita pela contagem de panículas em um metro de linha previamente demarcado, sendo nesta mesma área realizada a coleta de quinze panículas por ocasião da colheita para estimativa do número de grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade de espiguetas.

A eficiência do uso de água foi obtida pela divisão do rendimento de grãos pelo volume de água aplicado. Avaliou-se também a contribuição de água advinda das precipitações pluviais, através do monitoramento da precipitação com pluviômetro instalado ao lado do experimento. Por ocasião da irrigação definitiva, colocou-se em cada parcela uma estaca com altura de 0,1 m acima da superfície do solo após, regularam-se todas as saídas de

água das parcelas (despontes) no mesmo nível da extremidade das estacas (0,1 m de altura) para mensuração da lâmina de água antes e após as precipitações para quantificar a contribuição de água das precipitações pluviais.

Os valores de radiação solar global, de precipitação pluvial e de temperatura do ar foram obtidos da estação meteorológica automática e os valores de evaporação foram obtidos pelo tanque Classe A da estação meteorológica convencional do 8° DISME/INMET localizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a aproximadamente 500 m do experimento. Para a análise estatística, realizou-se para cada safra, o teste t bilateral para duas amostras independentes em nível de 5% de probabilidade, para comparar as épocas de semeadura.

Resultados e discussão

O volume de água aplicado não diferiu entre as épocas de semeadura nas safras 2010/11 e 2011/12, com volume médio aplicado para cada safra de, respectivamente, 5.757 e 8.420 m³ ha⁻¹ (Tabela 1). Na safra 2010/11, nos meses de outubro e novembro, a precipitação foi de, respectivamente, 62 e 41% a menos que a normal climática (Figura 1 C), provavelmente devido ao fenômeno La Niña, cujo característica é de chuvas abaixo da normal na primavera. Por outro lado, nos meses de dezembro, fevereiro e abril, a precipitação foi de, respectivamente, 26, 41 e 39% maior que a normal. Já em janeiro e março, foi de 18 e 60% menor que a normal. Com isso, a contribuição de água pelas chuvas foi semelhante entre as duas épocas de semeadura, com 4.080 m³ ha⁻¹ na semeadura realizada no início do período recomendado (01/10) e 3.792 m³ ha⁻¹ para a semeadura realizada época tardia (01/12), explicando em parte a semelhança entre as épocas de semeadura quanto ao volume de água aplicado nesta safra.

Na safra 2011/12, o volume de água aplicado foi 32% superior ao volume de água aplicado na safra 2010/11. Embora a contribuição da água das precipitações pluviais na semeadura realizada na época tardia (07/12) foi 37% superior a semeadura realizada no início do período recomendado (27/09). Isso não se refletiu em diferença significativa quanto ao volume de água aplicado. Isso pode estar relacionado à maior evaporação ocorrida no estabelecimento inicial da cultura (janeiro), o que demandou maior volume de água, em comparação à semeadura do início do período em que o estabelecimento inicial foi no mês de

novembro. O maior volume de água aplicado nessa safra está relacionado à menor precipitação ocorrida, principalmente nos meses de novembro, dezembro e janeiro com valores de, respectivamente, 65, 90 e 52% abaixo do normal (Figura 1 C). Com isso, houve menor contribuição de água pelas chuvas, com contribuição de, respectivamente, 50 e 14% a menos que as da safra de 2010/11, para as sementeiras no início da época e na época tardia.

Além da menor precipitação, outro fator que pode ter contribuído para maior volume de água aplicado na segunda safra é a maior evaporação ocorrida (Figura 1D). De maneira geral, na safra 2011/12, comparado à safra 2010/11, as temperaturas máximas do ar (Figura 1 A) e a radiação solar global (Figura 1 B) foram maiores em grande parte do período, o que deve ter contribuído para elevação da evaporação, pois o aumento da temperatura contribui para elevação do déficit de pressão de vapor. Mahajan et al. (2009) também associam a exigência de água na cultura do arroz com a demanda evaporativa.

Esses resultados estão próximos aos obtidos por Machado et al. (2006) que encontraram volumes de água aplicado variando de 5.431 a 6.422 e de 5.374 a 5.852 m³ ha⁻¹, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02 em diferentes sistemas de cultivos na mesma área experimental do presente estudo, com a cultivar ELPASO 144, semeada em 03 de novembro para ambas as safras agrícolas. Já Toeschler et al. (1997), no sistema de irrigação intermitente na mesma condição de clima e solo do presente estudo encontrou volume de água aplicado de 8.764 e 8.579 m³ ha⁻¹, respectivamente, para as cultivares BR-IRGA 409 e IAC-47. O sistema de irrigação intermitente permite grande economia no uso de água chegando a 24 e 38% nas safras de 2009 e 2010, respectivamente, comparado com a irrigação contínua (YAO et al., 2012), pois permite armazenar grande parte da água advinda das precipitações pluviais.

Embora a época de sementeira não influenciou no volume de água aplicado nas duas safras avaliadas, ela interferiu no rendimento de grãos da cultura (Tabela 1). Na safra 2010/11, o maior rendimento de grãos foi 11.334 kg ha⁻¹ para a sementeira realizada no início do período recomendado, 13% a mais que a sementeira na época tardia, uma redução de 24 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no rendimento a partir de 01/10. Comportamento semelhante a essa safra ocorreu na safra 2011/12, em que o maior rendimento de grãos foi na sementeira realizada no início do período recomendado, com rendimento de grãos 24% maior em comparação a época de sementeira tardia, uma redução de 33kg ha⁻¹ dia⁻¹ a partir de 27/09.

O maior rendimento de grãos obtido na sementeira realizada no início do período recomendado pode ser explicado em parte pela maior disponibilidade de radiação solar (Figura 1B) e melhores condições de temperatura (Figura 1 A) durante o período reprodutivo

da cultura (floração e enchimento de grãos), comparado à menor disponibilidade nesse período na semeadura realizada na época tardia. Além das condições meteorológicas, o aumento da esterilidade de espiguetas observado na semeadura tardia na safra de 2010/11 e o menor número de panículas produzidos na safra 2011/12 podem ter contribuído para o menor rendimento de grãos.

O aumento da esterilidade de espiguetas pode estar relacionado às temperaturas mais baixas (Figura 1 A) durante a formação do grão de pólen, pois Farrell et al. (2006) relatam que baixa temperatura nessa época pode causar aumento da esterilidade de espiguetas. Além disso, outro fator que pode ter contribuído para maior esterilidade de espiguetas foram as temperaturas elevadas na antese, já que, de acordo com Jagadish et al. (2007), temperaturas superiores a 35°C nesse estágio por mais de uma hora pode diminuir a fertilidade de espiguetas em arroz. Gunawardena et al. (2003), avaliando 12 horas por dia de temperatura de 21,4/21°C (dia/noite) comparado a 18/13°C (dia/noite) em diferentes alturas de lâmina de irrigação durante sete dias no desenvolvimento do micrósporo de arroz, encontraram, de forma geral, maior esterilidade de espiguetas na temperatura mais baixa (18/13°C). Em trabalho realizado por Pedro Júnior et al. (1995), avaliando a relação entre os valores de temperatura média do ar durante o período crítico e a produtividade relativa (%), encontraram a temperatura de 25°C como temperatura ótima na análise em conjunto de diferentes cultivares de arroz irrigado.

Esses resultados estão de acordo com Slaton et al. (2003) e Freitas et al. (2008) os quais relatam que os melhores rendimentos de grãos são obtidos quando as semeaduras são realizadas no início da época recomendada.

Akbar et al. (2010), também avaliando diferentes épocas de semeadura na cultura do arroz no Paquistão, encontraram que a época de semeadura afeta o rendimento de grãos da cultura e associaram o aumento do rendimento às condições meteorológicas favoráveis durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, como aumento dos valores médios de temperatura acumulada e horas de radiação solar.

Nesse sentido, fazer coincidir o período reprodutivo da cultura do arroz com as melhores condições de temperatura e radiação solar traz resposta positiva em termos de rendimento de grãos (ISLAM & MORISON, 1992; SLATON et al., 2003; FREITAS et al., 2008; KATSURA et al., 2008; SAFDAR et al., 2008; LACK et al., 2012).

A época de semeadura de arroz irrigado, além de influenciar o rendimento de grãos, influenciou a eficiência do uso de água, com uso de água mais eficiente na semeadura realizada no início do período recomendado, em ambas as safras avaliadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Volume de água aplicado (VAA), contribuição de água das precipitações pluviais (CP), esterilidade de espiguetas (E), número de panículas m^{-2} (NP), massa de mil grãos (MMG), número de grãos por panícula (NGP), rendimento de grãos (R) e eficiência de uso da água (EUA), na cultivar de arroz irrigado IRGA 424, em duas épocas de semeadura na safra 2010/11 e 2011/12. Santa Maria, RS. 2013.

Épocas	VAA - $m^3 ha^{-1}$ -	CP - $m^3 ha^{-1}$ -	NP	NGP	MMG - g -	E - % -	R - $kg ha^{-1}$ 1_	EUA ¹	EUA ²
safra 2010/11									
01/10/10	5901 ^{ns}	4080	761 ^{ns}	81 b	24,8 ^{ns}	9 b	11334 a	1,92 a	1,14 a
01/12/10	5614	3792	673	88 a	24,7	13 a	9876 b	1,76 b	1,05 b
Média	5757	3936	717	84	24,7	11	10605	1,84	1,09
CV %	3,4		11,6	2,4	2,3	18,5	4,8	6,0	0,00
safra 2011/12									
27/09/11	8453 ^{ns}	2040	801 a	61,9 ^{ns}	23,7 b	12,9 ^{ns}	9972 a	1,18 a	0,95 a
07/12/11	8386	3252	659 b	68,1	25 a	12,5	7610 b	0,91 b	0,65 b
Média	8420	2646	730	65	24	13	8791	1	0,80
CV %	4,1		6,9	9,7	3,7	13,7	2,6	6,7	0,00

¹ Eficiência de uso da água levando em consideração apenas o volume de água aplicada;

² Eficiência de uso da água levando em consideração o volume de água aplicada somado a contribuição de água das precipitações pluviais;

^{ns} Não significativo em nível $p \leq 0,05$;

* Médias não seguidas da mesma letra minúscula na coluna diferem entre si pelo teste t bilateral em nível de 5% de probabilidade.

A maior eficiência no uso de água está relacionada ao maior rendimento de grãos ocorrido na semeadura do início do período, pois aumentar o rendimento de grãos com o mesmo volume de água é uma estratégia que proporciona maior eficiência no uso de água, corroborando com Mahajan et al. (2009), os quais encontraram maior eficiência no uso de água na semeadura do início da época (15 de junho), associando essa eficiência ao maior rendimento de grãos.

Portanto, a época de semeadura de arroz irrigado é uma prática de manejo importante que afeta o rendimento de grãos da cultura e a eficiência do uso de água, devendo-se priorizar semeaduras no início do período recomendado visando o maior rendimento de grãos, que proporciona uso mais eficiente de água.

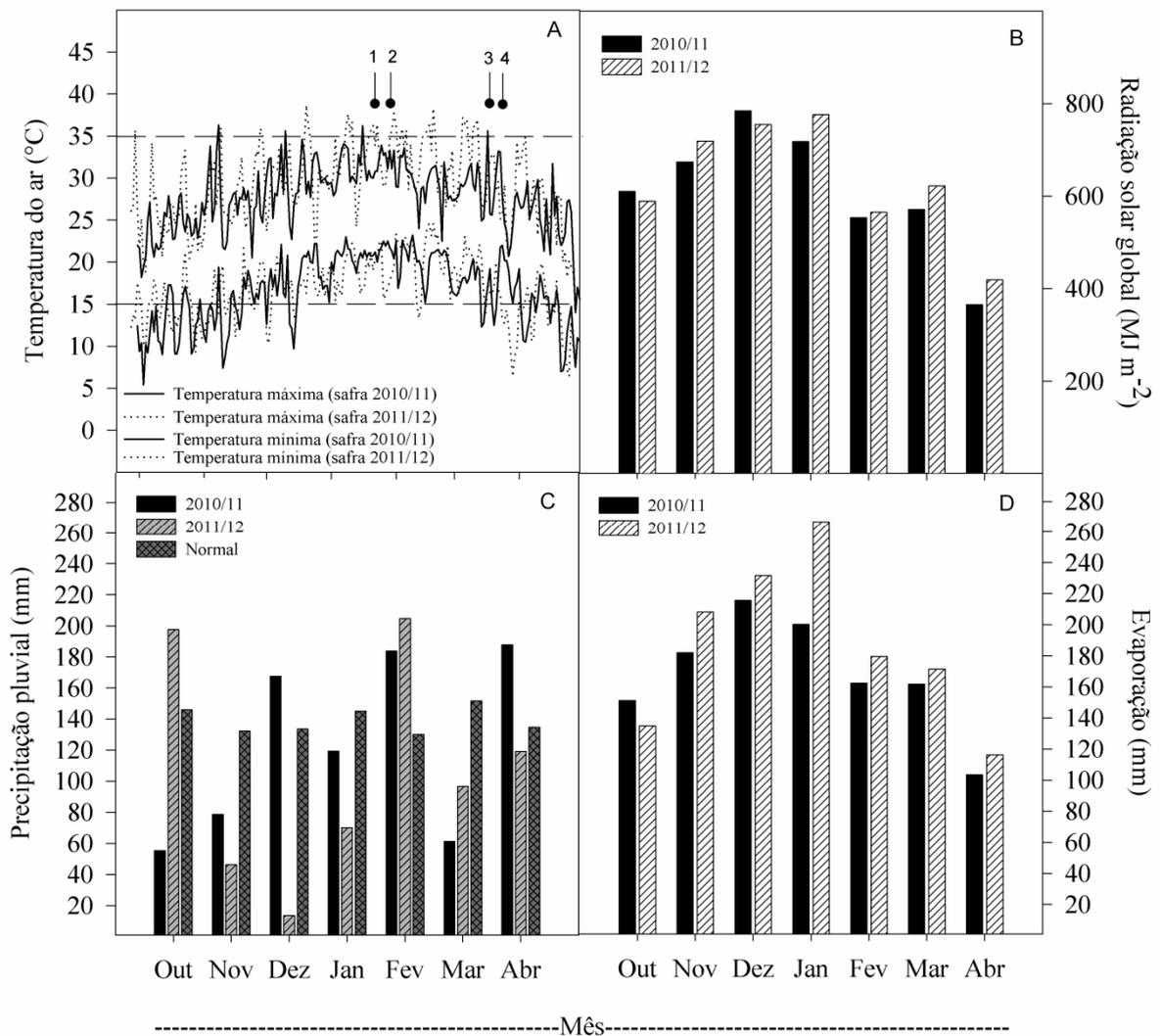


Figura 1 – Temperaturas do ar máxima e mínima (A), radiação solar global (B), precipitação pluviual (C) e evaporação (D) durante os meses de outubro a abril nas safras 2010/11 e 2011/12. Na figura 1A, os números 1,2,3 e 4 indicam as datas em que ocorreu a floração plena, em que 1 = floração ocorrida em 22/01/11; 2 = floração ocorrida em 26/01/11; 3 = floração ocorrida em 16/03/12; 4 = floração ocorrida em 23/03/12, para as épocas de semeadura de 01/10/10, 27/09/11, 01/12/10 e 07/12/11, respectivamente. Santa Maria, RS. 2013.

Conclusão

A semeadura realizada no início da época recomendada (início de outubro) proporciona maior rendimento de grãos e maior eficiência no uso da água.

Referências bibliográficas

AKBAR, N. et al. Effect of different sowing dates on the yield and yield components of direct seeded fine rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.22, n.10, p.312-315, 2010.

AHMAD, S. et al. Water and radiation use efficiencies of transplanted rice (*oryza sativa* l.) At different plant densities and irrigation regimes under semi-arid environment. **Pakistan Journal of Botany**. V. 40, n.1, p. 199-209, 2008.

BOUMAN, B.A.M; TUONG, T.P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland Rice. **Agricultural Water Management**, v. 1615, p.1-20, 2000.

COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective and adaptive system for expressing Rice development. **Crop Science Society of America**, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

FARREL, T.C. et al. Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: Screening with cold air and cold water. **Field Crops Research**, v.98, p.178-194, 2006.

FREITAS, T.F.S. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, P.2397-2405, 2008.

GUNAWARDENA, T. A., et al. Low temperature induced spikelet sterility in rice. II. Effects of panicle and root temperatures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.54, n.10, p.947-956, 2003.

HAEFELE, S.M. et al. Transpiration efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) **Field Crops Research**, v. 111, p.1-10, 2009.

ISLAM, M.S.; MORISON, J.I.L. Influence of solar radiation and temperature on irrigated rice grain yield in Bangladesh. **Field Crops Research**, v.30, p.13-28, 1992.

JAGADISH, S.V.K. et al. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.7, p. 1627-1635, 2007.

JALOTA, S.K. et al. Integrated effect of transplanting date, cultivar and irrigation on yield, water saving and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.) in Indian Punjab: Field and simulation study. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.1096-1104, 2009.

KATSURA, K. et al. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China 'A cross-location analysis. **Field Crops Research**, v. 107, p.1-11, 2008.

LACK, S. et al. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars. **Advances in Environmental Biology**, v.6, n.1, p.406-413, 2012.

LINSCOMBE, S. D. et al. Rice Response to Planting Date Differs at Two Locations in Louisiana. **Crop Management**, 2004.

MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.

MAHAJAN, G. et al. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. **Agricultural Water Management**, v.26, p.525-532, 2009.

MORADPOUR, S. et al. Effect of planting date and plant density on yield and yield components of rice. **Ecology, Environment and Conservation**, v. 17, n.2, p. 251-256, 2011.

NOLDIN, J. A. et al. Persistência do herbicida clomazone no solo e na água quando aplicado na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.401-408, 2001.

PEDRO JÚNIOR, M.J. et al. Estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. **Scientia Agricola**, v.52, n.1. p.96 -100, 1995.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed., Viçosa: SBCS, 2005. 100p.

SAFDAR, M.E. et al. Effect of transplanting dates on paddy yield of fine grain rice genotypes. **Pakistan Journal of Botany**. v.40, n.6, p.2403-2411, 2008.

SLATON, N. A. et al. Seeding date effect on rice grain yields in Arkansas and Louisiana. **Agronomy journal**, v.95, n.1, p.218-223, 2003.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado:** recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / 28. Reunião Técnica da cultura do Arroz Irrigado, Bento Gonçalves, RS. Porto Alegre, 2010. 188 p.

TOESCHER, C.F. et al. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da FZVA**, v.4, n.1, p. 49-57. 1997

YAO, F. et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. **Field Crops Research**, v.126, p.16-22, 2012.

5 CAPÍTULO III

GERMINAÇÃO DE BIÓTIPOS DE ARROZ-VERMELHO E DA CULTIVAR PUITÁ INTA CL SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DO SUBSTRATO

Resumo

O arroz-vermelho é a principal planta daninha do arroz irrigado, pois afeta a produtividade e qualidade de grãos. Objetivou-se avaliar a ação de diferentes temperaturas na dinâmica de germinação da cultivar de arroz Puitá INTA CL e de biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação da dormência. O trabalho foi realizado em 2011, em câmara B.O.D e Fitotron na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições. O fator (A) foi composto pelas temperaturas 13; 17; 21 e 25 °C, e o fator (D) pela cultivar Puitá INTA CL e três biótipos com e sem dormência. Avaliaram-se os parâmetros: germinação de sementes (GS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea (CPA). Ocorreu aumento da GS, do IVE, do CUE e do CPA dos biótipos de arroz-vermelho com o aumento da temperatura de 13 °C para 25 °C. Nas temperaturas de 13 e 17 °C, a cultivar Puitá INTA CL apresentou germinação 64% maior que a média dos biótipos sem superação da dormência, já aos 21 e 25 °C foi de 11% apenas. Os biótipos apresentaram germinação 56% maior nas temperaturas de 21 e 25 °C, comparado aos 13 e 17 °C. Em temperaturas mais baixas (13 e 17° C), ocorre menor germinação de arroz-vermelho. Com isso, como estratégia de manejo dessa planta daninha, deve-se priorizar a semeadura do arroz no início da época recomendada (setembro e início de outubro), ou em período em que as temperaturas são mais baixas.

Palavras-chave: Germinação. Dormência. *Oryza sativa*

Abstract

Red rice is the main weed in rice because it affects the productivity and grain quality. The objective was to evaluate the temperatures in the dynamics of germination of the rice cultivated Puitá INTA CL and red rice biotypes, with and without dormancy breaking. The study was conducted in 2011, in a B.O.D and phytotron at Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. The entirely randomized design was used with four replicates. Factor (A) consisted of temperatures 13, 17, 21 and 25 ° C and factor (D) to cultivar Puitá INTA CL and three biotypes, with and without dormancy. Were evaluated: seed germination (GS), speed of emergence (IVE), emergence uniformity coefficient (CUE) and length of the shoot (CPA). Occurred increase GS, IVE, CUE and CPA of red rice biotypes with increasing temperature from 13 ° C to 25 ° C. At the temperatures of 13 and 17 ° C the genotype germinates 64% more than the mean biotypes without dormancy breaking, as at 21 and 25 ° C was 11% only. Biotypes show germination of 56% higher at temperatures of 21 to 25 ° C, compared with 13 and 17 ° C. At lower temperatures (13 and 17 ° C) there is less red rice germination, as a control strategy for this weed, it is recommended to prioritize planting rice during the early recommended period (september and early october), or when the temperatures are lower.

Key words: Germination. Dormancy. *Oryza sativa*

Introdução

O arroz-vermelho é uma das principais plantas invasoras em áreas produtoras de arroz (NOLDIN et al., 2004), pois interfere no rendimento de grãos e na qualidade do produto (MARCHESAN et al., 2010; 2011), bem como no preço pago pelo produto (GEALY et al., 2000).

O controle de arroz-vermelho torna-se dificultado devido à similaridade morfológica com o arroz cultivado (SCHWANKE et al., 2008) e à diversidade de biótipos com características morfológicas distintas presentes em uma população de arroz-vermelho (MENEZES et al., 2002; FONTANA et al., 2007; SHIVRAIN et al., 2009).

Outra característica importante que dificulta as práticas de controle, é a dormência de sementes de arroz-vermelho (AGOSTINETTO et al., 2001; GIANINETTI et al., 2007; FOGLIATTO et al., 2011; MARCHESAN et al., 2011), que proporciona a distribuição da germinação e da emergência ao longo do tempo (BEWLEY, 1997), diminuindo a uniformidade de emergência (SHIVRAIN et al., 2009), o que dificulta ainda mais seu controle.

Existem dois tipos de dormência nas sementes: a dormência primária e secundária. A dormência primária ocorre após a colheita, estabelecendo-se durante a maturação fisiológica, e pode ser superada pelo período de armazenamento ou por algum método físico ou químico. Já a dormência secundária ocorre quando não são dadas às sementes condições favoráveis para germinação (SCHWANKE et al., 2008), sendo essa condição também conhecida por quiescência (AGOSTINETTO et al., 2001). Segundo Menezes et al. (2009), temperaturas baixas no início da maturação, e altas, em torno de 30°C, 10 a 15 dias após a floração induzem a dormência em sementes de arroz. Estudo realizado por Schwanke et al. (2008) mostrou elevada variabilidade quanto à intensidade e à duração da dormência em biótipos de arroz-vermelho provenientes de lavouras dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A duração e a intensidade da dormência apresentam variações referentes ao tipo de biótipo e com as condições ambientais ocorrentes no período de desenvolvimento das sementes. O período necessário para superação da dormência de sementes depende das condições de temperatura e umidade (DELATORRE, 1999).

Nesse sentido, trabalho avaliando o efeito de diferentes temperaturas diurnas e noturnas, representadas por 15/10, 20/15, 25/20 e 30/25 °C em laboratório, na germinação de biótipos de arroz-vermelho da Coreia e do Sudeste Asiático verificou que a porcentagem de germinação aumenta com o aumento da temperatura, sendo a temperatura de 25/20 °C a que apresentou os melhores resultados de germinação (YOUNG-SON CHO, 2010). Em Louisiana, ao avaliarem a germinação de sementes de arroz-vermelho submetidas a diferentes condições de temperatura, (GIANINETTI & COHN, 2008) observaram germinação superior nas temperaturas de 20 a 35 °C em comparação as temperaturas de 1 a 15 °C. O aumento da temperatura faz com que a velocidade de emergência de arroz-vermelho seja mais rápida (GEALY et al., 2000; SHIVRAIN et al., 2009). Nesse sentido, são importantes mais estudos para identificar o efeito da temperatura na germinação de biótipos de arroz-vermelho e do arroz cultivado, para que se possa associar esses resultados com práticas de controle em áreas infestadas por arroz-vermelho.

Em vista disso, o trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes temperaturas do substrato na germinação do genótipo de arroz irrigado Puitá INTA CL e de diferentes biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação de dormência.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no ano de 2011, no Laboratório do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul (RS). Realizou-se um experimento bifatorial no delineamento inteiramente casualizado com um fator qualitativo e outro quantitativo equidistante, com quatro repetições. O fator A foi composto pelas temperaturas do substrato 13; 17; 21 e 25 °C e o fator D pela cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL e três biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação de dormência, os quais estão caracterizados na Tabela 1.

Para os tratamentos em que foi necessária a superação da dormência, condicionaram-se as sementes por 96 horas, em estufa, com circulação forçada de ar, a temperatura de 50 °C conforme as Regras de Análises de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Os biótipos de arroz-vermelho foram coletados no mês de março de 2011, na área experimental de várzea do mesmo departamento.

Após as coletas das sementes dos biótipos de arroz-vermelho, foi realizada limpeza manual das amostras e posterior secagem com ventilação de ar forçado com temperatura de 37 ± 2 °C, até as sementes atingirem umidade de 13%. As sementes foram colocadas em sacos de papel e armazenadas em Câmara Fria e Seca no Laboratório de Análises de Sementes da UFSM, com temperatura controlada a 10 ± 2 °C e umidade relativa do ar em torno de 30%. Após, permaneceram armazenadas até a primeira semana de outubro, quando se iniciou o experimento.

Foram realizados dois experimentos, um em câmara B.O.D e o outro em Fitotron, sendo a temperatura controlada de acordo com cada tratamento. Em B.O.D utilizaram-se 50 sementes para cada tratamento, com quatro repetições, semeadas em papel germitest (substrato) umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Aos 14 dias após a semeadura (DAS), avaliou-se a porcentagem de germinação das sementes (GS), considerando semente germinada aquela que emitiu radícula e/ou parte aérea, independente de seu comprimento. Utilizando-se as mesmas plântulas do teste de germinação, avaliou-se o comprimento da parte aérea (CPA) aos 14 DAS, com mensuração da parte aérea

de dez plântulas de cada repetição, com auxílio de régua graduada. O comprimento médio de plântulas foi obtido pela soma das medidas de cada repetição, dividindo-se pelo número de plântulas mensuradas, com resultados expressos em centímetros (cm).

Tabela 1 – Características morfológicas, largura (L), espessura (E), comprimento (C), massa de mil sementes (MMS) e estatura de plantas (EP) dos biótipos de arroz-vermelho e da cultivar Puitá Inta CL. Santa Maria - RS. 2013.

Biótipos	Sementes com casca				EP (cm)
	L (mm)	E (mm)	C (mm)	MMS (g)	
1 - Casca palha, sem arista	2,8	2,0	9,1	27,5	71
2 - Casca preta, com arista	3,0	2,0	8,8	25,8	96
3 - Casca palha, com arista	3,1	2,0	8,7	26,6	98
Cultivar de arroz irrigado					
1 - Puitá INTA CL	2,2	1,91	9,6	25,0	85

Em câmara Fitotron, a semeadura foi realizada em bandejas plásticas com dimensões de 6 x 25 x 37 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente, sendo o substrato utilizado areia na quantidade de 5 kg/bandeja. A esterilização da areia, bem como a quantidade de água para germinação, foi realizada conforme RAS (BRASIL, 2009).

Avaliou-se o índice de velocidade de emergência (IVE) pela contagem diária do número de plântulas emergidas até que esse número permanecesse constante, sendo considerada emergida a plântula visível na superfície da areia. O IVE foi calculado através da seguinte fórmula $IVG = (E_1 - E_0)/N_1 + (E_2 - E_1)/N_2 + \dots + (E_n - E_{n-1})/N_n$, onde E_0 é a contagem no primeiro dia, E_1 no segundo dia, ..., E_n no enésimo dia, N_1 é o primeiro dia após a semeadura, N_2 o segundo dia, ..., N_n o enésimo dia, segundo Vieira & Carvalho (1994). O coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) também foi obtido pela contagem diária do número de plântulas emergidas até que esse número permanecesse constante, porém, para o cálculo do CUE, utilizou-se a equação proposta por Shivrain et al. (2009), em que baixo valor de CUE indica menor uniformidade de emergência.

$CUE = \frac{\sum n}{\sum (\bar{t} - t_x)^2 n_x}$, onde n = número total de sementes emergidas, n_x = número de novas sementes emergidas no t_x e \bar{t} = tempo médio de emergência das sementes.

Os resultados avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias), sendo que as variáveis primeira contagem de germinação e CUE foram transformadas para $y_t = \sqrt{(y + 0,5)}$. Os valores apresentados são valores não transformados. A análise da variância dos dados do experimento foi realizada através do teste F, e a média do fator quantitativo, quando significativa, submetida à análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear, quadrático e cúbico. Para os resultados expressos graficamente, determinou-se o intervalo de confiança ($P \leq 0,05$).

Resultados e discussão

O resumo da análise da variância para as variáveis germinação de sementes (GS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea (CPA) encontram-se na Tabela 2, onde, para todas as variáveis, houve interação entre os fatores estudados (A*D). Na Figura 1, encontra-se o desdobramento da interação (A*D), sendo as equações de regressão apresentadas na Tabela 3.

Para a germinação de sementes (GS) (Figura 1 a) não houve ajuste para os modelos de regressão polinomiais testados para a cultivar de arroz Puitá INTA CL. Exceto para o biótipo 1, sem superação de dormência, que apresentou comportamento linear, os demais biótipos, com e sem superação de dormência, apresentaram comportamento quadrático nas temperaturas avaliadas.

De maneira geral, os biótipos de arroz-vermelho sem superação da dormência apresentaram germinação inferior àqueles com superação da dormência de sementes. A cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL apresentou germinação superior a 80% em todas as temperaturas, sendo essa germinação superior a dos biótipos de arroz-vermelho sem superação de dormência nas temperaturas de 13, 17 e 21°C. No entanto, aos 25 °C, a germinação do da cultivar de arroz e dos biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação das sementes, foi semelhante. Com aumento da temperatura, os biótipos de arroz-vermelho aumentaram a germinação de sementes, sendo as temperaturas de 21 e 25 °C responsáveis

pelos maiores percentuais de germinação. Essa diferença no comportamento da germinação de sementes da cultivar em relação aos biótipos de arroz-vermelho e mesmo entre biótipos está associada à dormência das sementes. Neste sentido Schwanke et al. (2008) encontraram elevada variabilidade na intensidade e duração da dormência das sementes de biótipos de arroz-vermelho, sendo que alguns biótipos apresentaram dormência maior que 150 dias após a colheita, já as cultivares de arroz irrigado, aos 30 dias após a colheita, apresentaram germinação superior a 80%.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis: germinação de sementes (VS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea (CPA). Santa Maria - RS. 2013.

FV	Quadrados médios				
	GL	GS	IVE	CUE	CPA
A	3	24711,52**	423,79**	0,39**	520,73**
D	6	3674,76**	3,85**	0,05**	5,20**
A*D	18	1103,60**	0,92**	0,09**	3,42**
Erro	84	23,11	0,10	0,00	0,07
CV (%)		7,70	7,15	3,39	5,52

** indica significativo a 5% pelo teste F; FV = Fontes de variação; A = temperaturas; D = genótipo de arroz irrigado Puitá INTA CL e biótipos de arroz-vermelho com e sem superação de dormência.

A dormência de sementes pode ser resultado de várias interações entre pericarpo e outras estruturas envoltórias e o próprio embrião, o que pode acarretar desde limitação física até bloqueios metabólicos em diversas rotas e mecanismos (DELATORRE, 1999). Além disso, a dormência em arroz-vermelho pode estar ligada à impermeabilidade das estruturas que cobrem as sementes à difusão do oxigênio (AGOSTINETTO et al., 2001).

De acordo com trabalho realizado por Gianinetti & Vernieri (2007), a dormência de sementes de arroz-vermelho está associada ao conteúdo de ácido abscísico (ABA) contido nas sementes, pois o ABA atua na promoção da síntese de proteínas inibidoras da germinação e na inibição da síntese de enzimas envolvidas na mobilização de reservas (MENEZES et al., 2009).

O ABA é o principal fator envolvido na dormência de sementes de arroz, sendo a superação da dormência proporcional à degradação de ABA endógeno nas sementes

(HAYASHI, 1987). Além disso, em arroz, considera-se que o desequilíbrio entre fitormônios atua de forma direta e indireta no metabolismo de carboidratos, proteínas e outras reservas das sementes (MENEZES et al., 2009), o que pode estar relacionado à imaturidade fisiológica do embrião e apresentar impermeabilidade da cobertura a gases e/ou desequilíbrio de substâncias promotoras e inibidoras da germinação induzida durante o acúmulo de matéria seca das sementes (FILHO, 2005). Segundo o mesmo autor, a superação da dormência ocorre quando as sementes são expostas a temperaturas elevadas, sendo a rapidez da resposta diretamente relacionada ao aumento de temperatura.

Nas temperaturas de 13 e 17 °C, a cultivar de arroz apresentou germinação média de 85% e a média dos biótipos de arroz-vermelho sem superação de dormência foi de 21% apenas, uma diferença de 64%. Com o aumento da temperatura (21 e 25 °C), a germinação média da cultivar foi de 88% e a dos biótipos foi de 77%, reduzindo a diferença para 11% apenas. Além disso, os biótipos apresentam germinação média de 56% maior nas temperaturas de 21 e 25 °C, comparado à média das temperaturas de 13 e 17 °C.

Além da dormência primária, a menor germinação ocorrida nas temperaturas mais baixas (13 e 17 °C) pode estar associada à indução de dormência secundária pois, conforme trabalho realizado por Gianinetti & Cohn (2008), sob 15 °C parte da população de sementes de arroz-vermelho foi induzida à dormência secundária. Segundo os autores, a porcentagem de sementes que são induzidas à dormência secundária, diminui com o aumento da temperatura (15 a 25 °C), sendo que, na temperatura ótima para germinação (30 °C), os biótipos apresentaram mínima dormência. Estes autores relatam também que, com o aumento da temperatura, a indução de dormência é limitada, pois os processos de germinação ocorrem mais rapidamente do que a indução à dormência.

Os resultados obtidos no presente estudo de germinação de sementes de arroz-vermelho corroboram com resultados de Young-Son Cho (2010), que obteve maior porcentagem de germinação de arroz-vermelho na temperatura diurna e noturna de 25/20 °C. Outro trabalho realizado por Gianinetti & Cohn (2008) também encontrou germinação de arroz-vermelho superior nas temperaturas mais elevadas (20 a 35 °C) em comparação às temperaturas mais baixas (1 a 15 °C).

Esses resultados de germinação de sementes em relação à temperatura podem ser utilizados como uma estratégia importante em termos de manejo de arroz-vermelho em áreas de arroz irrigado, pois se verificou que, em temperaturas mais baixas, ocorre menor germinação de arroz-vermelho em comparação a cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL, estando essa menor germinação em parte relacionada à dormência de sementes.

Com isso, como estratégia de manejo para áreas infestadas por arroz-vermelho, deve-se priorizar sementeiras no início do período recomendado (setembro e início de outubro), pois as temperaturas do ar nesse período são mais baixas (Figura 2), o que contribui para inibição da germinação de grande parte dos biótipos de arroz-vermelho. Por outro lado, em sementeiras mais ao final do período (novembro e dezembro), devido à elevação da temperatura, a germinação do arroz-vermelho pode ser igual ou superior a do arroz cultivado, o que aumenta o potencial de competição e danos à cultura.

Segundo trabalho realizado por Gealy et al. (2000), a maior parte dos biótipos de arroz-vermelho emerge na época de sementeira do “tarde”, pois o aumento da temperatura faz com que a emergência de arroz-vermelho seja mais rápida neste período (GEALY et al., 2000; SHIVRAIN et al., 2009).

Para índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 1 b), ocorreu maior velocidade de emergência de plântulas com o aumento da temperatura. Além disso, observa-se que em condições de temperatura mais baixa (17 e 21 °C), a velocidade de emergência da cultivar de arroz irrigado é maior do que os biótipos 1 e 2 sem superação de dormência, o que pode estar relacionado à dormência de sementes destes biótipos. Entretanto, nessa mesma condição, o biótipo 3 apresentou similaridade a cultivar de arroz, demonstrando que há diferenças no comportamento de biótipos de arroz-vermelho. Shivrain et al. (2009) também constataram variação de emergência entre biótipos de arroz-vermelho em diferentes épocas de sementeiras do arroz irrigado.

Já na condição de temperatura mais elevada, a velocidade de emergência da cultivar de arroz irrigado e dos biótipos de arroz-vermelho apresentaram comportamento semelhante. Segundo Shivrain et al. (2009), biótipos de arroz-vermelho que possuem igual ou superior taxa de emergência ao arroz cultivado, competem mais pelos recursos naturais disponíveis (luz, água, nutrientes, espaço), podendo causar significativas reduções de rendimento de arroz irrigado.

Nas temperaturas mais baixas (13 e 17 °C), a cultivar de arroz Puitá INTA CL apresentou velocidade média de emergência 39% maior em relação à média dos biótipos de arroz-vermelho sem superação de dormência. Por outro lado, com o aumento da temperatura para 21 e 25 °C, essa diferença reduziu para 14% apenas, demonstrando que a velocidade de emergência da cultivar de arroz irrigado em condições de temperaturas mais elevadas é muito próxima a do arroz-vermelho, pois a velocidade de emergência dos biótipos de arroz-vermelho nessa condição foi cerca de 82% mais elevada em comparação à velocidade média de emergência nas temperaturas de 13 e 17 °C.

Esses resultados corroboram com trabalhos de Gealy et al. (2000), Mertz et al. (2009) e Shivrain et al. (2009), em que o aumento da temperatura promoveu emergência mais rápida de plântulas de arroz-vermelho e arroz cultivado. A variação da velocidade de emergência pode estar relacionada à diferença de vigor entre os biótipos e a cultivar de arroz pois, de acordo com Cruz & Milach (2004), a velocidade de germinação está relacionada ao alto vigor de sementes, sendo esta a hipótese para o melhor desempenho de alguns biótipos de arroz-vermelho. Outro comportamento importante relacionado à temperatura é na uniformidade de emergência (CUE). A uniformidade de emergência aumentou com o aumento da temperatura (Figura 1 c). Observa-se que, na temperatura de 25 °C, os biótipos de arroz-vermelho apresentaram igual ou superior uniformidade de emergência a cultivar de arroz irrigado utilizada, estando essa maior uniformidade de emergência relacionada à maior velocidade de emergência ocorrida nas temperaturas mais elevadas. Na temperatura de 21 °C, a cultivar apresentou emergência mais uniforme, em comparação aos biótipos, estando a menor uniformidade de emergência dos biótipos relacionada, em parte, à dormência de sementes, o que faz com que se amplie o tempo de emergência. Isso porque, nas temperaturas de 13; 17; 21 e 25 °C iniciou a emergência das plântulas aos 21; 13; 6 e 4 dias após a semeadura, respectivamente, e a estabilização da emergência ocorreu aos 21; 9; 6 e 5 dias após o início da emergência, respectivamente.

Assim, sob temperaturas mais baixas, o período para início e estabilização da emergência foi maior quando comparado a temperaturas mais elevadas. Esse maior período de tempo para início e estabilização da emergência deve-se fundamentalmente à dormência de sementes, o que contribui para a baixa uniformidade (SHIVRAIN et al., 2009). Nesse sentido, se, por um lado, semeaduras realizadas no início do período recomendado para a cultura traz benefícios em termos de menor emergência de arroz-vermelho, por outro lado, o controle dessa planta daninha pode ser dificultado, devido ao período de emergência ser prolongado e desuniforme. Ressalta-se, aqui, a importância de práticas complementares de controle de plantas daninhas, como a época de semeadura e a uniformidade de irrigação, na sustentabilidade do processo de produção de arroz. A temperatura também interferiu no comprimento da parte aérea das plântulas (CPA) (Figura 1 d), sendo o maior comprimento observado com o aumento da temperatura. O menor comprimento da parte aérea nas temperaturas mais baixas 13 e 17 °C pode ser reflexo direto da baixa temperatura, pois, das três fases que envolvem a germinação das sementes, a temperatura influencia na fase de ativação e crescimento do coleóptilo e radícula, sendo que a temperatura ideal para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 25 °C e 30 °C (YOSHIDA, 1981). Temperaturas

menores que esse intervalo podem ocasionar um estresse por frio, provocando alterações na germinação, porcentagem de plântulas normais, comprimento do coleótilo, entre outros fatores, principalmente por afetar a expressão isoenzimática como as enzimas esterase e desidrogenase, envolvidas na germinação das sementes (MERTZ et al., 2009).

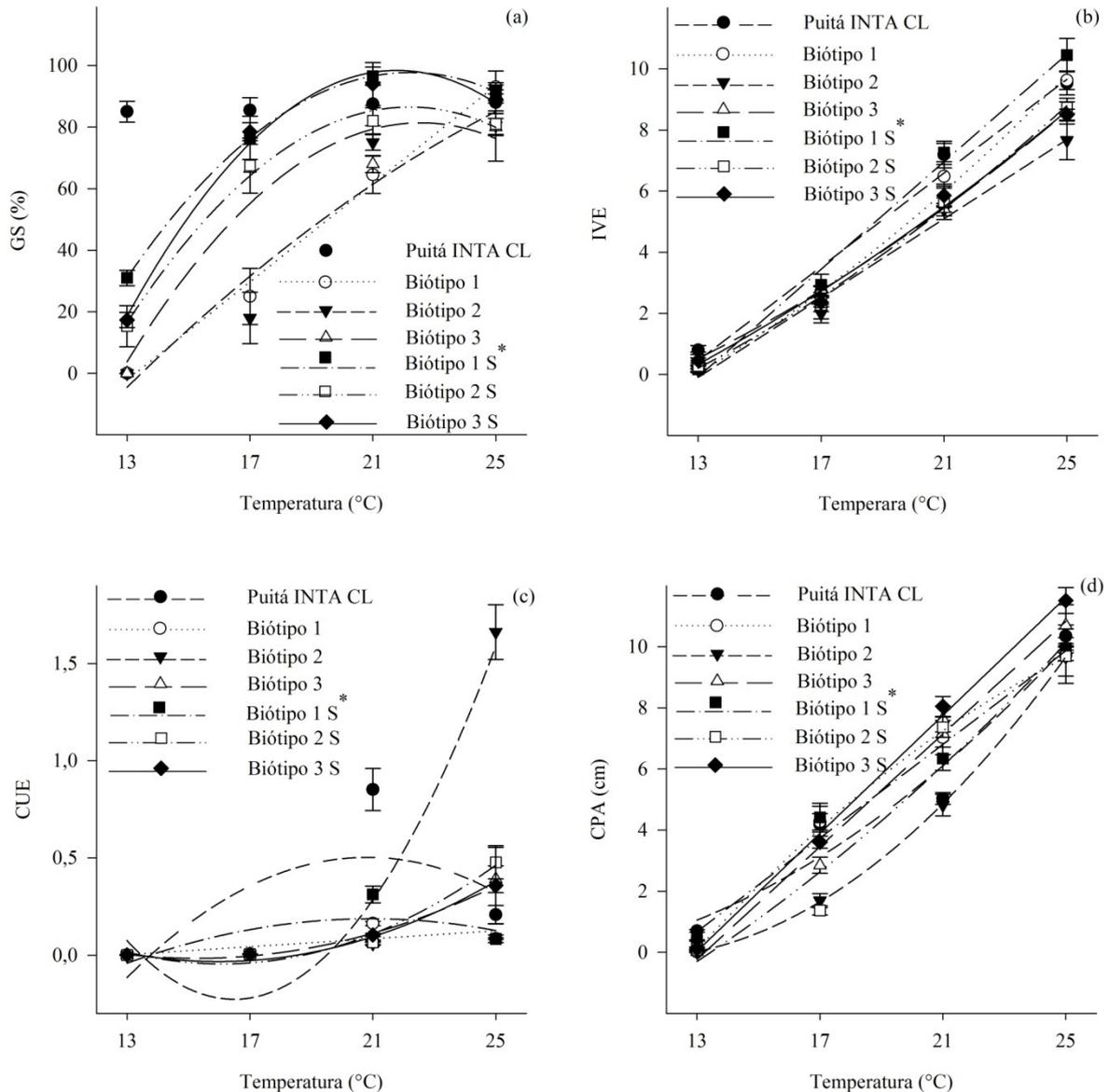


Figura 1 – Germinação de sementes (GS) (a), índice de velocidade de emergência (IVE) (b), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) (c) e comprimento da parte aérea (CPA) (d) em função da cultivar de arroz Puitá INTA CL e dos diferentes biótipos de arroz-vermelho com e sem superação da dormência nas diferentes temperaturas do substrato. Santa Maria - RS. 2013. S* = Com superação da dormência das sementes.

Tabela 3 – Equações das regressões referentes as variáveis, germinação de sementes (GS), índice de velocidade de emergência (IVE), coeficiente de uniformidade de emergência (CUE) e comprimento da parte aérea das plântulas (CPA) em função dos tratamentos utilizados. Santa Maria - RS. 2013.

Tratamentos	Equações	R ²
Germinação de sementes (GS)		
Puitá INTA CL		
Biótipo 1	$Y = -105,641 + 7,961^{**} x$	0,989
Biótipo 2	$Y = -164,926 + 14,876x - 0,195^{**} x^2$	0,749
Biótipo 3	$Y = -351,382 + 38,388x - 0,851^{**} x^2$	0,783
Biótipo 1 S*	$Y = -290,907 + 35,021x - 0,789^{**} x^2$	1,000
Biótipo 2 S	$Y = -322,282 + 36,855x - 0,830^{**} x^2$	0,975
Biótipo 3 S	$Y = -392,323 + 45,049x - 1,033^{**} x^2$	0,974
Índice de velocidade de emergência (IVE)		
Puitá INTA CL	$Y = -9,503 + 0,766^{**} x$	0,963
Biótipo 1	$Y = -4,776 + 0,139x + 0,017^{**} x^2$	0,967
Biótipo 2	$Y = -8,516 + 0,648^{**} x$	0,982
Biótipo 3	$Y = -3,450 + 0,115x + 0,014^{**} x^2$	0,999
Biótipo 1 S*	$Y = -11,494 + 0,878^{**} x$	0,990
Biótipo 2 S	$Y = -3,882 + 0,106x + 0,016^{**} x^2$	0,993
Biótipo 3 S	$Y = -4,869 + 0,250x + 0,011^{**} x^2$	0,976
Coeficiente de uniformidade de emergência (CUE)		
Puitá INTA CL	$Y = -3,886 + 0,422x - 0,010^{**} x^2$	0,439
Biótipo 1	$Y = -0,130 + 0,010^{**} x$	0,476
Biótipo 2	$Y = 6,556 - 0,823x + 0,025^{**} x^2$	0,833
Biótipo 3	$Y = 1,257 - 0,161x + 0,005^{**} x^2$	0,931
Biótipo 1 S*	$Y = -1,408 + 0,152x - 0,003^{**} x^2$	0,455
Biótipo 2 S	$Y = 1,603 - 0,205x + 0,006^{**} x^2$	0,918
Biótipo 3 S	$Y = 0,896 - 0,119x + 0,003^{**} x^2$	0,993
Comprimento da parte aérea das plântulas (CPA)		
Puitá INTA CL	$Y = 0,649 - 0,339x + 0,028^{**} x^2$	0,841
Biótipo 1	$Y = -18,267 + 1,731x - 0,024^{**} x^2$	0,994
Biótipo 2	$Y = 5,690 - 1,079x + 0,049^{**} x^2$	0,999
Biótipo 3	$Y = -12,209 + 0,921^{**} x$	0,984
Biótipo 1 S*	$Y = -9,278 + 0,765^{**} x$	0,976
Biótipo 2 S	$Y = -6,075 + 0,224x + 0,016^{**} x^2$	0,833
Biótipo 3 S	$Y = -12,496 + 0,964^{**} x$	0,996

S* = Com superação da dormência das sementes; ** Significativo a 5% pelo teste F.

Trabalho realizado por Cruz & Milach (2004), avaliando a porcentagem de redução do coleóptilo 28 dias após a germinação, à temperatura de 13 °C, comparado aos 7 dias à temperatura de 28 °C, encontrou variação de 11 a 68% na redução do coleóptilo entre as

cultivares estudadas. Outro trabalho mostra menor comprimento do coleóptilo na temperatura de 13 °C comparando com a temperatura de 25 °C (MERTZ et al., 2009).

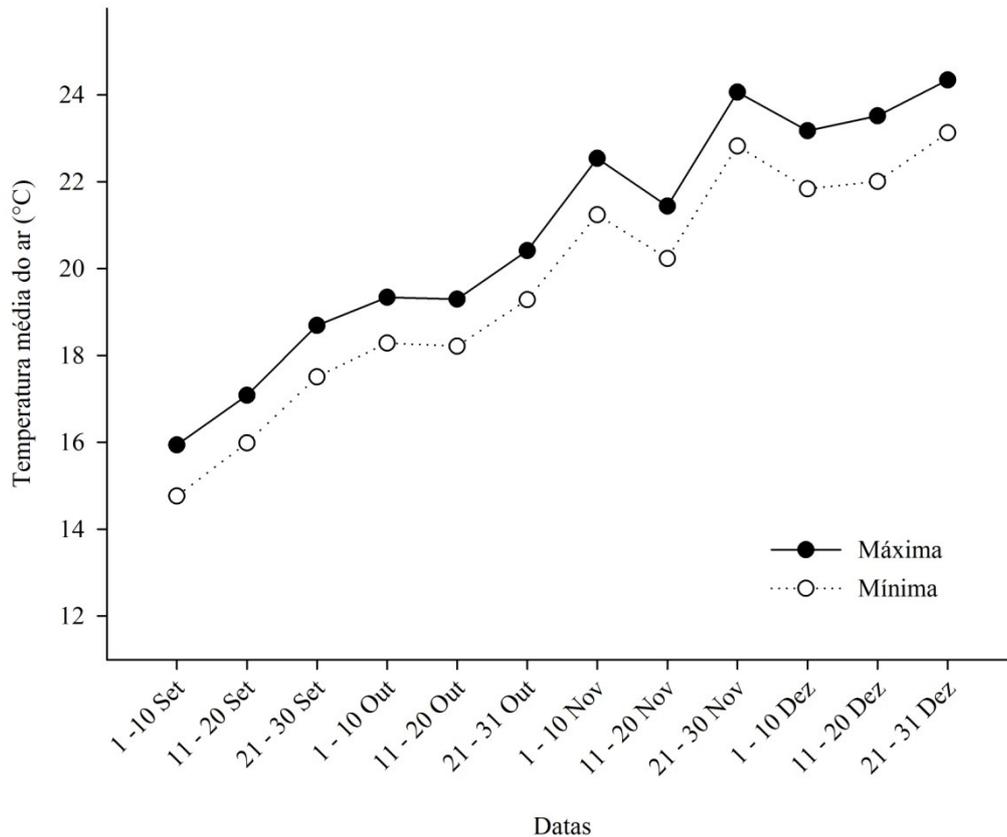


Figura 2 – Temperatura média do ar máxima e mínima ocorrida durante os meses de setembro a dezembro em Santa Maria no ano de 2011. Santa Maria - RS. 2013.

Além disso, verificaram-se também variações entre a cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL e os biótipos de arroz-vermelho utilizados com e sem superação de dormência, principalmente em condições de temperaturas mais baixas (17 e 21 °C). As variações ocorridas nessas condições de temperaturas podem estar relacionadas, em parte, à diferença de vigor dos biótipos e da cultivar Puitá INTA CL e, também, à menor uniformidade de emergência, proporcionando plântulas de diferentes comprimentos.

Entre os biótipos de arroz-vermelho, o biótipo 2 apresentou menor comprimento de plântulas. Outro fator importante é que, em condições de temperatura mais elevada (25 °C), os biótipos de arroz-vermelho apresentam comprimento igual ou superior a cultivar de arroz

irrigado, podendo esse maior comprimento da parte aérea das plântulas estar associado ao maior crescimento do mesocótilo em temperaturas mais elevadas (GEALY et al., 2000).

Isso mostra que, nessa condição, como ocorre nas sementeiras realizadas nos meses de novembro e dezembro no Estado do RS, onde as temperaturas são mais elevadas, muitos biótipos de arroz-vermelho podem ser favorecidos pelo processo de competição pelos recursos naturais disponíveis no solo.

Conclusão

A temperatura do substrato afeta a germinação da cultivar de arroz irrigado Puitá INTA CL e dos biótipos de arroz-vermelho, com e sem superação de dormência. Em temperaturas mais baixas (13 e 17° C), ocorre menor germinação de arroz-vermelho, com isso, como estratégia de manejo de arroz-vermelho em áreas de arroz irrigado, deve-se priorizar a sementeira do arroz no início da época recomendada (setembro e início de outubro), ou em período em que as temperaturas são mais baixas.

Referências bibliográficas

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

BEWLEY, J. D. Seed Germination and Dormancy. **Plant Cell**, v.9, n.1, p.1055-1066, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

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

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

FILHO, J. M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p

FOGLIATTO, S. et al. Germination of Weedy Rice in Response to Field Conditions during Winter. **Weed Technology**, v.25, n.2, p.252-261, 2011.

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

GEALY, D. R. et al. Emergence of red rice (*Oryza sativa*) ecotypes under dry-seeded rice (*Oryza sativa*) culture. **Weed Technology**, v.14, n.2, p.406-412, 2000.

GIANINETTI, A. et al. Ethylene Production is Associated with Germination but not Seed Dormancy in Red Rice. **Annals of Botany**, v.99, n.4, p.735-745, 2007.

GIANINETTI, A.; VERNIERI, P. On the role of abscisic acid in seed dormancy of red rice. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.12, p.3449-3462, 2007.

GIANINETTI, A.; COHN, M. A. Seed dormancy in red rice. XIII: Interaction of dry-afterripening and hydration temperature. **Seed Science Research**, v.18, n.3, p.151-159, 2008.

HAYASHI, M. Relationship between endogenous germination inhibitors and dormancy in rice seeds. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v.21, n.3, p.153-161. 1987.

MARCHESAN, E. et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: banco de sementes de arroz-vermelho e fluxo gênico. **Planta Daninha**, v.29, n.esp, p.1099-1105, 2011.

MARCHESAN, E. et al. Carryover of imazethapyr and imazapic to notolerant rice. **Weed Technology**, v.24, n.1, p.6-10, 2010.

MENEZES, V. G. et al. Caracterização de biótipos de arroz-vermelho em lavouras de arroz no estado do rio grande do sul. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.221-227, 2002.

MENEZES, N. L. et al. Dormência de sementes em arroz: causas e métodos de superação. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.7, n.1, p.35-44, 2009.

MERTZ, L. M. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.254-262, 2009.

NOLDIN, J.A. et al. Desempenho de populações híbridas F₂ de arroz-vermelho (*Oryza sativa*) com arroz transgênico (*O. sativa*) resistente ao herbicida amonio-glufosinate. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p.381-395, 2004.

SCHWANKE, A. M. L. et al. Avaliação de germinação e dormência de ecótipos de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v.26, n.3, p.497-505, 2008.

SHIVRAIN, V. K. et al. Red rice (*Oryza sativa*) emergence characteristics and influence on rice yield at different planting dates. **Weed Science**, v.57, n.1, p.94-102, 2009.

VIEIRA, R. D. ; CARVALHO, N. M. Teste de vigor de sementes. Jaboticabal: FUNEP. 1994. 55p

YOUNG-SON CHO. Germination Characteristics of Korean and Southeast Asian Red rice (*Oryza sativa* L.) Seeds as Affected by Temperature. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.2, p.104-107, 2010.

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p

6 CAPÍTULO IV

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE ARROZ EXPOSTAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E NÍVEIS DE ÁGUA NO SISTEMA PRÉ-GERMINADO

Resumo

Na semeadura antecipada do arroz (setembro e início de outubro) ocorrem temperaturas baixas e isso pode ocasionar alterações morfofisiológicas nas plântulas de arroz. Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a resposta inicial de dois genótipos de arroz submetidos a diferentes temperaturas e níveis de água no sistema pré-germinado, através de parâmetros relacionados ao estresse oxidativo, ao crescimento e à nutrição mineral de plântulas. O trabalho foi realizado em 2012, em câmara Fitotron. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema trifatorial (2x2x3), sendo o fator A composto pelas temperaturas do ar 17 e 20 °C, o fator C pelas cultivares de arroz irrigado IRGA 425 e Epagri 114 e o fator D pelas alturas de lâmina de água 1, 5 e 9 cm. Verificou-se maiores alterações morfofisiológicas com o aumento da lâmina de água para a Epagri 114. Além da lâmina de água, a temperatura interferiu no desempenho das plântulas, ocorrendo maior produção de massa seca da raiz e parte aérea, bem como maior acúmulo de nitrogênio aos 20 °C na lâmina de água de 1 cm para ambos os genótipos. A concentração de H₂O₂ na raiz também aumentou com o aumento da lâmina de água em ambos os genótipos, verificando-se maiores aumentos para a Epagri 114. A lâmina de água de 5 cm de altura causou aumento na peroxidação lipídica para os dois genótipos. A atividade da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) também apresentaram variação de acordo com o genótipo, sendo a SOD mais representativa, aumentando sua atividade com o aumento da lâmina de água. Os tratamentos testados também influenciaram no teor de clorofila e carotenóides, que decresceram com o aumento da lâmina de água, com menor interferência da temperatura e da lâmina de água para a IRGA 425. A temperatura e a altura da lâmina de água afetam a absorção de nitrogênio, acúmulo de massa seca e o estresse oxidativo em plântulas

de arroz no sistema testado, havendo diferenças genotípicas. Os menores estresses foram observados nas plantas de arroz submetidos a lâmina de água de 1 cm na temperatura de 20 °C, sendo a cultivar IRGA 425 mais tolerante ao incremento da altura de lâmina de água em comparação à cultivar Epagri 114.

Palavras chaves: estresse oxidativo, nitrogênio, lâmina de irrigação, frio.

Abstract

On early sowing of rice (September and beginning of October), there are low temperatures and this can bring morphophysiological changes in rice seedlings. Therefore, the study aimed to assess the initial response to two rice genotypes to different temperatures and water levels in the pre- germination system, by parameters related to oxidative stress, growth and mineral nutritional of plants. The study was performed in 2012, in phytotron. The experiment was a three- factorial (2x2x3), completely randomized design, with the factor A composed by the air temperatures (17 and 20 °C), factor C composed by the irrigated rice cultivars IRGA 425 and Epagri 114, and factor D composed by the water level heights 1; 5 and 9 cm. There were more morphophysiological changes with the increase of water level for Epagri 114. Besides the water level, the temperature interfered in seedling performance, occurring more dry matter production from roots and shoot, as well as greater accumulation of nitrogen at 20°C on 1 cm water level in both genotypes. The concentration of H₂O₂ in roots also increased with the increase of the water level in both genotypes, verifying larger increases for Epagri 114. The 5 cm water level caused increase in lipid peroxidation for both genotypes. . The activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX), also showed variation according to the genotype, with SOD as the most representative, increasing the activity as water level increases. The treatments tested also influenced the content of chlorophyll and carotenoid, which decreased with the increase of water level, with less interference of temperature and water level for IRGA 425. The temperature and the water level affect the absorption of nitrogen, dry mass accumulation and oxidative stress in seedlings in the tested system, existing genotypic differences. The minor stresses were

observed on rice seedlings submitted to 1 cm water level at 20 °C, as the cultivar IRGA 425 the most tolerant to water level increase compared to Epagri 114.

Key words: oxidative stress, nitrogen, water depth, cold.

Introdução

O arroz irrigado é uma cultura de grande importância em nível mundial, sendo a base alimentar para grande parte da população (KANNO et al., 2009). A produtividade dessa cultura é influenciada pelos extremos de temperatura do ar, tanto baixa quanto alta (GAMMULLA et al., 2010). A temperatura do ar baixa reduz o crescimento vegetativo da planta de arroz e aumenta a esterilidade de grãos, reduzindo o rendimento de grãos em 30-40% em algumas partes do mundo (GAMMULLA et al., 2010). Um dos fatores mais importantes para elevar o potencial de rendimento de grãos é fazer coincidir o período mais reponsivo da cultura com a ocorrência de maior radiação solar e temperatura adequada na região (FREITAS et al., 2008; KATSURA et al., 2008; SAFDAR et al., 2008; LACK et al., 2012). No entanto, para que isso ocorra, o início da semeadura do arroz é realizada em período no qual as temperaturas do ar e do solo são baixas, ocasionando estresses e uma série de mudanças morfofisiológicas na cultura (OHSUMI et al., 2012). Com isso, a produção de fitomassa (OHSUMI et al., 2012), bem como a absorção e utilização de nitrogênio, que é um dos fatores determinantes no rendimento da cultura (AZAM et al., 2003; KANNO et al., 2009; SHIMOMO et al., 2012), podem ser prejudicados.

Uma alternativa para minimizar os estresses por temperatura baixa nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do arroz seria o uso do sistema de cultivo pré-germinado, em que a semeadura, o crescimento e o desenvolvimento inicial da radícula e/ou parte aérea das plântulas ocorrem sob a lâmina de água. Assim, a lâmina de água, pelas propriedades de alto calor específico e calor latente, contribuiria para tamponação das flutuações de temperatura (TAIZ & ZEIGER, 2006). No entanto, nesse sistema, há demanda de genótipos com maior capacidade de desenvolvimento inicial, pois o desempenho das plântulas de arroz sob anaerobiose depende do vigor de sementes e da capacidade das plântulas de degradarem as substâncias de reserva das sementes e transformá-las em novas

biomoléculas para seu crescimento até que essa atinja a superfície da água (WIELEWICKI et al., 2003). Além disso, no sistema pré-germinado a lâmina de água (inundação) é um dos fatores que causa estresse (MITTAL et al. 2009), pois nesse ambiente a concentração de O₂ é baixa, levando à anóxia (sem O₂) ou à hipóxia (baixo O₂), podendo gerar H₂O₂ em níveis tóxicos (DAMANIK et al., 2012). Com isso, podem ocorrer alterações morfológicas, como alongamento do colmo das plantas e clorose em genótipos de arroz pouco tolerantes ao alagamento (KAWANO et al., 2002).

De acordo com KOCSY et al. (2011), os estresses por baixa temperatura causam perdas significativas na produtividade de cereais. Adicionalmente, o estresse ocasionado pode intensificar a produção das espécies reativas de oxigênio (EROs) (GILL & TUJETA, 2010; RANAWAKE et al., 2012; UPADHYAYA et al., 2007) e consequentes danos aos lipídios de membrana, proteínas, pigmentos fotossintéticos e ácidos nucleicos, podendo causar morte celular (MITTLER, 2002; GILL & TUJETA, 2010).

Existem vários mecanismos estabelecidos que levam à redução ou prevenção do estresse oxidativo (BONNECARRÈRE et al., 2011). O sistema de defesa antioxidante é responsável por manter a produção de EROs equilibrada, podendo ser antioxidantes enzimáticos como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (ELLA et al., 2003); e os não enzimáticos, como os carotenóides, que em plantas exercem função importante no sistema fotossintético (SALGUERO et al., 2003).

Nesse sentido, o trabalho teve por objetivo avaliar a resposta inicial de dois genótipos de arroz a diferentes temperaturas do ar e alturas de lâmina de água no sistema de cultivo pré-germinado, através de parâmetros relacionados ao status de estresse oxidativo, crescimento e nutrição mineral de plântulas.

Material e métodos

Desenho experimental, material vegetal e condições de crescimento

O trabalho foi realizado em 2012 em câmara fitotron na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema trifatorial (2 x 2 x 3), sendo o fator A

composto pelas temperaturas do ar 17 e 20 °C, o fator C pelas cultivares de arroz irrigado IRGA 425 e Epagri 114 e o fator D pelas alturas de lâmina de irrigação 1, 5 e 9 cm. As unidades experimentais foram constituídas de bandejas plásticas com área útil de 0,129 m², o substrato utilizado foi solo sem adubação com as seguintes características físico-química no momento da semeadura: pH água (1:1) = 5,6; Ca cmol_c DM⁻³ = 3,3; Mg cmol_c dm⁻³ = 1,0; Al cmol_c dm⁻³ = 0,0; Saturação Al (%) = 0,0; Saturação Bases (%) = 58,2; MO (%) = 2,2; P – Mehlich mg dm⁻³ = 24,8; K mg dm⁻³ = 200.

O sistema de semeadura utilizado foi o sistema pré-germinado, sendo as lâminas de irrigação formadas aos 20 dias antes da semeadura. Para cada altura de lâmina de irrigação, foi realizada uma identificação correspondente à altura desejada, visando manter a sua uniformidade conforme o previsto. A quantidade de semente utilizada foi de 40 sementes bandeja⁻¹, correspondendo a 310 sementes m⁻² para ambos os genótipos. Para pré-germinação, as sementes foram imersas em água por um período de 36 horas. Após esse período, elas foram retiradas da água e colocadas à sombra em ambiente protegido por um período de 36 horas até que o coleótilo e a radícula atingissem 2 a 3 mm (SOSBAI, 2010). Após esse período, realizou-se a semeadura de sementes pré-germinadas de forma manual.

Temperatura do ar, água e solo

O experimento foi conduzido à temperatura do ar de 17 e 20 °C até os 25 dias após a semeadura (DAS), momento em que ocorreu o término da execução do experimento. Durante esse período, foi monitorado a temperatura da água próximo à superfície do solo para cada altura da lâmina de irrigação, bem como a temperatura do solo na profundidade de 1 a 2 cm. As temperaturas da água e do solo foram monitoradas com sensores (modelo 107-L34-PT), sendo os dados registrados em coletor de dados (datalogger) modelo CR1000.

Parâmetros de crescimento

Avaliou-se o comprimento da parte aérea aos 25 DAS (estádio V3). Para essa avaliação, coletaram-se três plantas bandeja⁻¹ e, com auxílio de régua graduada, mensurou-se

o comprimento da parte aérea, sendo o valor médio obtido pela soma dos valores das três plantas mensuradas e posteriormente dividida pelo número de plantas. Nesse mesmo período, avaliou-se a massa seca da parte aérea e das raízes pela secagem de ambas as partes das plantas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até que o peso permanecesse constante.

Concentração de nitrogênio (N) e N acumulado planta⁻¹

Para determinação da concentração de N e do N acumulado planta⁻¹, após a determinação da massa seca da parte aérea das plantas coletadas aos 25 DAS, realizou-se a determinação do N nessas plantas através do autoanalisador de (NCS) modelo FLASH 2000.

Determinação do peróxido de hidrogênio

A concentração de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) foi determinada de acordo com Loreto & Velikova (2001). Foram homogeneizados 0,05 g matéria fresca (raízes e parte aérea) em 2 mL de 0,1% de ácido tricloroacético. O homogeneizado foi centrifugado a 12.000 g durante 15 min. Em seguida, 0,5 mL do sobrenadante foi adicionado a 0,5 mL de 10 mM tampão de fosfato de potássio (pH 7,0) e 1 mL de 1M KI. A concentração de H₂O₂ do sobrenadante foi avaliada comparando a sua absorvância a 390 nm através de uma curva padrão de calibração.

Determinação de clorofila e carotenóides

As concentrações de carotenóides e clorofila foram determinados segundo o método de Hiscox & Israelstam (1979) e estimada com metodologia de Lichtenthaler's (LICHTENTHALER, 1987). Foram utilizados 0,1 g de folhas congeladas, sendo essas incubadas a 65 °C em dimetilsulfóxido (DMSO) até que os tecidos estivesse completamente

branqueados. Absorvância da solução foi então medida a 470 nm, 645 e 663 para determinar o conteúdo de carotenóides e clorofilas.

Estimação da peroxidação lipídica

O nível de produtos da peroxidação lipídica foi estimado seguindo o método de El-Moshaty et al. (1993), através da determinação da concentração de malondialdeído (MDA) como produto da peroxidação lipídica pela reação com o ácido tiobarbitúrico. Amostras de tecidos frescos (0,1 g de peso fresco) foram homogeneizadas em 2 mL de 0,2M tampão fosfato-citrato, pH 6,5, contendo 0,5% de Triton X-100. O homogeneizado foi centrifugado durante 15 min a 20.000 x g. Um mililitro da fração do sobrenadante foi adicionado a um volume igual de 20% TCA contendo 0,5% TBA. A mistura foi aquecida a 95 °C durante 40 min e, em seguida, resfriada em gelo durante 15 min. Após a centrifugação a 5.000 g, durante 15 min, a absorvância do sobrenadante foi determinada no comprimento de 532 nm. Uma correção para turbidez não específica foi feita por subtração do valor de absorvância obtida em 600 nm. A peroxidação de lipídio foi expressa como nmol de MDA (mg massa fresca⁻¹).

Ascorbato peroxidase

A ascorbato peroxidase (APX) foi determinada de acordo com Zhu et al. (2004). A atividade foi analisada através de uma mistura de reação, a um volume total de 2 mL, contendo 25 mM de tampão fosfato de sódio (pH 7,0), 0,1 mM de EDTA, 0,25 mM de ascorbato, 1,0 mM de H₂O₂ e 100 µL de extrato de enzima. H₂O₂ dependendo da oxidação do ascorbato foi seguido por uma diminuição da absorvância a 290 nm ($E = 2,8 \text{ L}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e a atividade foi expressa como µmol de ascorbato oxidado min⁻¹ mg⁻¹ proteína.

Catalase

A atividade da catalase (CAT) foi determinada de acordo com o método modificado de Aeby (1984). Amostras frescas (1 g) foram homogeneizadas em 5 mL de 50 mM K_2HPO_4/KH_2PO_4 (pH 7,0), 10 g L⁻¹ de PVP, 0,2 mM de EDTA e 10 mL L⁻¹ Triton X-100. O homogeneizado foi centrifugado a 12000 x g durante 20 min a 4 °C e, em seguida, o sobrenadante foi usado para a enzima ensaio. A atividade da catalase foi determinada através do monitoramento do desaparecimento do H₂O₂ determinado na absorbância de 240 nm em uma mistura de reação contendo 2 mL de tampão KPO_4 (pH 7,0), 15 mM de H₂O₂ e 30 µl de extrato. A atividade foi expressa como $\Delta E \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

Superóxido dismutase

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada pelo método de Misra & Fridovich (1972). Cerca de 200 mg de raízes e parte aérea foram homogeneizadas em 5 mL de 100 mmol L⁻¹ de tampão fosfato de potássio (pH 7,8) contendo 0,1 mmol L⁻¹ de EDTA, 0,1% (v/v) Triton X-100 e 2% PVP (p/v). O extrato foi centrifugado a 22000 x g por 10 min a 4°C, e o sobrenadante foi utilizado. A mistura de reação constituiu de um volume final de 1 mL, contendo tampão glicina (pH 10,5), 1 mmol L⁻¹ de epinefrina e material enzimático. A epinefrina foi o último componente adicionado. A formação do adenocromo nos primeiros 4 min foi determinada em espectrofotômetro a 480 nm. Uma unidade de atividade de SOD foi expressa como a quantidade de enzima requerida para causar 50% de inibição da oxidação da epinefrina nas condições experimentais utilizadas.

Análise estatística

Os resultados avaliados foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias), sendo as variáveis massa seca da raiz aos 25 DAS transformadas pela transformação Box-Cox. Os valores apresentados são valores não transformados. A análise da variância dos dados do experimento foi realizada através do teste F. As médias dos fatores qualitativos, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para o fator quantitativo,

quando significativo, foi submetido à análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático, sendo o nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

Nos dois níveis de temperaturas do ar estudadas (17 e 20°C), as temperaturas da água e do solo foram influenciadas pela altura da lâmina de água durante os 25 dias de realização do experimento (Figura 1 A; B). A temperatura do solo manteve-se sempre mais elevada em comparação à temperatura da água na mesma altura de lâmina. Além disso, de maneira geral, com o aumento da lâmina de água ocorreu redução tanto na temperatura da água quanto na temperatura do solo. As maiores reduções foram na temperatura da água, com redução média de 0,4°C da lâmina de 1 cm para 9 cm de altura, durante todo o período. Houve interação dupla entre os fatores (temperatura x altura de lâmina de água) para os parâmetros massa seca da parte aérea (PA) e nitrogênio acumulado (NA) planta⁻¹. No entanto, para massa seca da raiz (R) e relação raízes/parte aérea (RRPA), houve interação tripla (temperatura do ar x cultivar x altura de lâmina de água) (Tabela 1).

De acordo com os resultados expressos na figura 2 A e B, as massas secas de raízes das cultivares IRGA 425 e Epagri 114 foram influenciadas pelas temperaturas e pelas alturas da lâmina de água, indicando sensibilidade do sistema radicular dessas cultivares aos fatores testados. De maneira geral, aos 20 °C, houve maior produção de massa seca radicular nas lâminas de 1 e 5 cm comparado aos 17 °C para ambas as cultivares. Ocorreu redução linear da massa seca da raiz com o aumento da lâmina de água para as cultivares IRGA 425 e Epagri 114 aos 17 e 20°C, respectivamente.

Esses resultados estão de acordo com Broch et al. (1997) que, ao avaliarem níveis de altura de lâmina de água (0; 1,5 e 3,0 cm) no sistema pré-germinado com a cultivar BR-IRGA 410, encontraram redução na massa seca e no comprimento da raiz e parte aérea com o aumento da lâmina de água aos 21 dias após a semeadura. Segundo esses autores, as alterações no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular podem ser explicadas pela concentração reduzida de oxigênio resultante da falta de O₂, o que reflete diretamente em diversas reações bioquímicas, além do estresse gerado pela água como barreira física ao crescimento de plântulas.

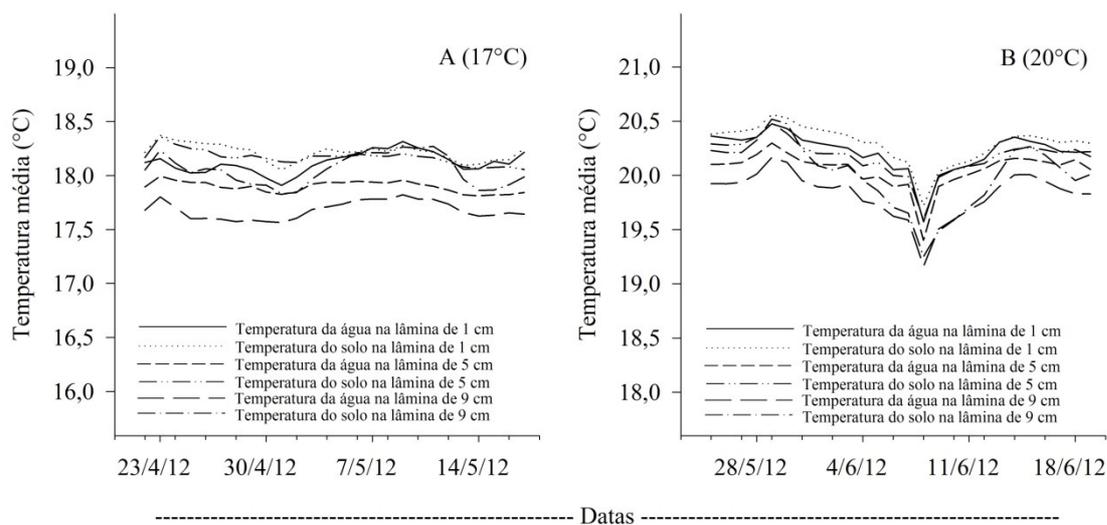


Figura 1 – Temperatura da água e do solo aos 17 e 20°C nas lâminas de água de 1; 5 e 9 cm. Santa Maria, RS. 2013.

No entanto, no presente estudo, a redução foi mais acentuada na temperatura do ar de 20°C, com maior produção de massa seca de raízes na lâmina de 1 cm de altura. Cada espécie vegetal tem um conjunto de requisitos particulares de temperatura, os quais viabilizam o adequado crescimento e desenvolvimento. Muitas espécies, especialmente aquelas que são nativas de habitat quentes, apresentam sintomas de injúria quando expostas a baixas temperaturas (Kaniuga, 2008). Essas plantas, incluindo o milho (*Zea mays*), a soja (*Glycine max*), o algodão (*Gossypium hirsutum*), a banana (*Musa sp.*) e o arroz (*Oryza sativa*) são, em geral, sensíveis a temperaturas próximas a 15 °C.

Na temperatura de 20 °C, a cultivar IRGA 425 apresentou redução da massa seca da raiz com o aumento da lâmina, sendo essa redução menor quando comparada àquela da Epagri 114, mostrando-se menos sensível à altura da lâmina de água. No entanto, aos 17°C, ocorreu menor influência da altura da lâmina de água na massa seca da raiz das cultivares, ocorrendo comportamento inverso na cultivar IRGA 425, sem alterações significativas na Epagri no parâmetro de fitomassa radicular.

De acordo com Kocsy et al. (2011), a exposição ao frio, havendo ou não congelamento, induz ao estresse oxidativo. Os sintomas de lesão induzida por estresse ao frio em plantas surgem já nas primeiras horas de exposição à baixa temperatura (BONNECARRÈRE et al., 2011). No entanto, essa duração varia entre espécies e genótipos,

de acordo com a sensibilidade ao estresse por frio. Vários sintomas fenotípicos em resposta ao estresse de frio incluem a redução da expansão foliar e da biomassa radicular, murcha, clorose (amarelamento de folhas) e necrose em casos extremos. A temperatura baixa também dificulta seriamente a reprodução e o desenvolvimento de plantas. Uma vez que o incremento da altura da lâmina de água promoveu redução da temperatura da água e do solo (Figura A, B), pode-se sugerir que as respostas em termos de crescimento são um efeito adicional do estresse por frio resultante dos tratamentos, pois, de acordo com Ohsumi et al. (2012), temperatura baixa diminui não só a produção de biomassa, mas também a redução do rendimento de grão de arroz pelas mudanças fisiológicas e morfológicas que ocorrem.

Tabela 1 – Número de graus de liberdade (GL) e estimativa de quadrados médios (QM) da massa seca de raízes (R) e da massa seca da parte aérea (PA), nitrogênio acumulado (NA) planta⁻¹ na PA e relação raízes/parte aérea (R/PA) aos 25 dias após a semeadura (25 DAS). Santa Maria, RS. 2013.

FV	GL	QM			
		Massa seca		NA planta ⁻¹	RRPA (mg)
		R	PA	(mg) PA	
Temperatura (A)	1	0,042 [*]	1161,446 [*]	2,088 [*]	0,580 [*]
Cultivar (C)	1	0,001 [*]	72,533 [*]	0,225 [*]	0,555 [*]
Altura da lâmina de água (D)	2	0,012 [*]	400,708 [*]	1,045 [*]	0,402 [*]
A*C	1	0,007 [*]	36,481 ^{ns}	0,103	0,232
A*D	2	0,008 [*]	166,732 [*]	0,442 [*]	1,345 [*]
C*D	2	0,000 ^{ns}	2,170 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,019 ^{ns}
A*C*D	2	0,002 [*]	1,755 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,257 [*]
Erro	24	0,000	15,371	0,029	0,058
CV%		1,55	23,13	23,6	26,99

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} = Não significativo.

Além de interferir na massa seca de raízes, a temperatura do ar e a altura da lâmina de água afetaram negativamente a massa seca da parte aérea e o acúmulo de nitrogênio no tecido das cultivares (Figura 2 C; D, respectivamente). Em geral, a maior produção de massa da parte aérea e o maior acúmulo de nitrogênio ocorreram na temperatura de 20 °C. Segundo Kanno et al. (2009), a produção de biomassa é dependente da disponibilidade de fotoassimilados produzidos e da eficiência de seu uso para crescimento, além de fatores como aumento da assimilação de CO₂, o qual pode ser decorrente do aumento da área foliar e do

crescimento relativo das plantas em temperaturas adequadas. Em trabalho realizado pelos mesmos autores, avaliando a produção de biomassa e o crescimento de plantas de arroz durante a fase vegetativa sob três diferentes temperaturas noturnas (17, 22 e 27 ° C), mantendo-se 27 ° C durante o dia, foi encontrada maior acumulação de amido e sacarose nas plantas sob a baixa temperatura, e isso, segundo Ohashi et al. (2000), é um indicador da ineficácia com que fotoassimilados foram utilizados para crescimento de plantas. Outro fator importante é que o maior acúmulo de nitrogênio observado no tecido das plantas aos 20 ° C pode ter contribuído para a maior produção de massa seca da parte aérea no presente estudo.

Nessa mesma temperatura, ocorreu redução linear na produção de massa seca e no acúmulo de nitrogênio com o aumento da altura da lâmina de água, sendo a lâmina de 1 cm de altura a que proporcionou maior massa seca da parte aérea e acúmulo de nitrogênio no tecido. Interessantemente aos 17 ° C não houve influência da altura da lâmina de água para esses parâmetros. Dentre os efeitos ocasionados pelo estresse por frio está a redução da atividade metabólica (CHINNUSAMY et al., 2007), a qual resulta em menor produção de fitomassa (OHSUMI et al., 2012), e isso pode estar em parte associado à menor atividade fotossintética (BAGNALL et al., 1988). Em trabalho realizado por Bonnacarrère et al. (2011), ao avaliarem dois genótipos de arroz japônica quanto à tolerância a baixas temperaturas, observou-se diminuição do peso fresco dos genótipos na temperatura de 10 ° C quando comparada aos 28 ° C. Em condições de campo, Ohsumi et al. (2012), trabalhando com duas épocas de semeadura (durante a mesma safra), uma em que a temperatura média do ar foi de 16,1 e 15,1 ° C e outra com temperaturas médias de 19,8 e 19 ° C, os parâmetros referentes ao número de folhas, comprimento da parte aérea e massa seca foram maiores durante o período em que as temperaturas foram mais elevadas. Segundo os autores, a diminuição da parte aérea de plantas cultivadas nas temperaturas inferiores (16,1 e 15,1 ° C) significa menor volume de tecido que as plantas possuem para armazenar fotoassimilados.

Além da produção de fitomassa, a mineralização e a disponibilidade de nitrogênio para as plantas são, consideravelmente, dependentes da temperatura da rizosfera (AZAM et al., 2003). Além disso, segundo os mesmos autores, pode haver diferenças genotípicas para o efeito da temperatura na zona da raiz em termos de desenvolvimento radicular, nutrição e ciclagem de nutrientes. Shimono et al. (2012), ao avaliarem a absorção de nitrogênio em arroz sob diferentes níveis de temperatura da água (16 a 25 ° C), encontraram aumento na taxa de absorção de nitrogênio com o aumento da temperatura da água, e perceberam que a temperatura baixa afeta a taxa de absorção desse nutriente, corroborando os dados do presente estudo. Nesse sentido, essa redução pode ter sido decisiva para a falta de diferenciação na

resposta de crescimento entre as lâminas de água na temperatura de 17 °C, uma vez que, mesmo na menor lâmina, já se observou crescimento reduzido. A temperatura, somada ao efeito da altura da lâmina de água, pode explicar a menor acumulação de nitrogênio na parte aérea e mais acentuadamente no sistema radicular.

A relação de biomassa (R/PA) (Figura 2 E; F) apresentou comportamento semelhante ao apresentado para massa seca de raízes. Aos 20 °C ambas as cultivares de arroz apresentaram redução linear na razão R/PA com o aumento da lâmina de irrigação. Esses dados demonstram que a partição de reservas e a produção de fotoassimilados dessas cultivares de arroz irrigado são sensíveis ao aumento de altura da lâmina de água, a qual resulta em uma menor fitomassa alocada às raízes em relação à parte aérea. Esse comportamento pode estar relacionado em parte à produção de etileno que é induzida pela submersão (KAWANO et al., 2002), o que pode resultar em alterações morfofisiológicas, de acordo com o grau de tolerância da cultivar à submersão.

Por outro lado, na temperatura de 17 °C para a cultivar IRGA 425, não houve resposta à altura da lâmina nesse parâmetro. No entanto, a cultivar Epagri 114 apresentou comportamento quadrático, com maior relação R/PA na lâmina de 5 e 9 cm de altura.

Além disso, observa-se maior relação R/PA na temperatura de 20 °C comparado aos 17 °C na lâmina de 1 e 5 cm para cultivar IRGA 425. As respostas a um estresse por submersão podem variar de acordo com os genótipos e espécies testadas, podendo também haver respostas comuns aos genótipos e espécies. Esses estresses podem passar despercebidos durante o ciclo vegetal, sendo componentes importantes para o metabolismo; entretanto, uma vez que esse estresse ultrapassa a capacidade da planta de responder através do sistema antioxidante e que não acompanha a ciclagem celular normal, danos metabólicos estruturais são observados, sendo a divisão celular, membranas celulares e organelas negativamente afetados (DAMANIK et al., 2012).

Houve interação tripla entre os fatores A*C*D (temperatura x cultivar x altura da lâmina da água) para a concentração de H₂O₂ na parte aérea e MDA, atividade da SOD, atividade da CAT e atividade da APX nas raízes e parte aérea, bem como carotenóides na parte aérea (Tabela 2). No entanto, para a concentração H₂O₂ nas raízes, ocorreu interação dupla entre os fatores C*D (cultivar x altura da lâmina da água). Já para clorofila na parte aérea das plantas houve interação dupla entre os fatores A*C; A*D e C*D (temperatura x cultivar; temperatura x altura da lâmina da água e cultivar x altura da lâmina da água, respectivamente).

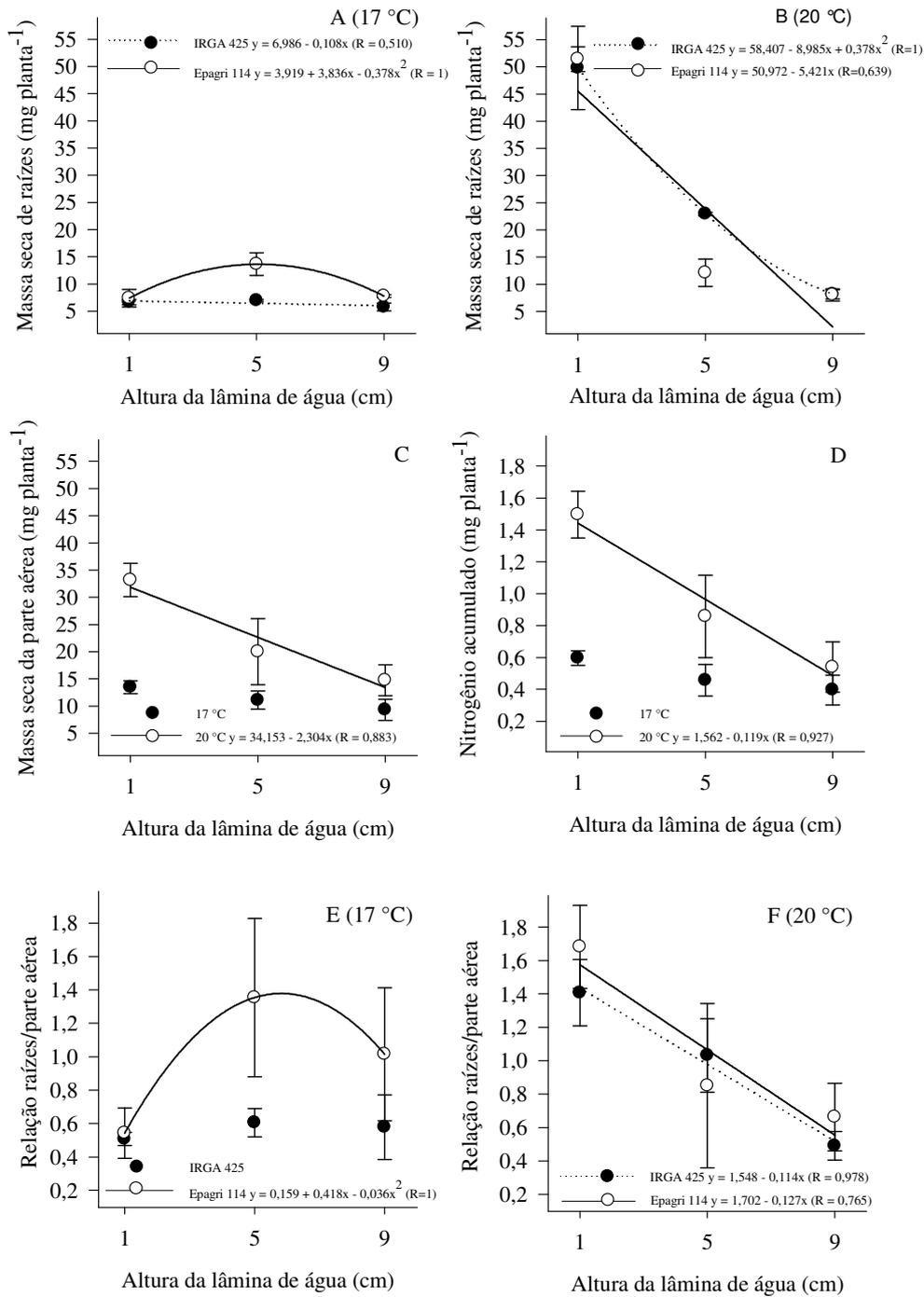


Figura 2 – Massa seca de raízes aos 25 dias após a semeadura (DAS) na temperatura de 17 °C (A) e 20 °C (B), massa seca da parte aérea aos 25 DAS (C), nitrogênio acumulado planta⁻¹ na parte aérea aos 25 DAS (D) e relação raízes/parte aérea aos 25 DAS na temperatura de 17 °C (E) e 20 °C (F) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

Tabela 2 - Fonte de variação (FV), número de graus de liberdade (GL) e estimativas de quadrados médios do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (TBARS), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e superóxido dismutase (APX) da raiz (R) e da parte aérea (PA) e da clorofila e carotenoides da parte aérea (PA) aos 25 dias após a semeadura (25 DAS). Santa Maria, RS. 2013.

FV	GL	QM			
		H ₂ O ₂		TBARS	
		R	PA	R	PA
Temperatura (A)	1	0,102 ^{ns}	0,608 ^{ns}	0,0018 [*]	0,0156 [*]
Cultivar (C)	1	3,062 [*]	1,047 [*]	0,0002 ^{ns}	0,0051 [*]
Altura da lâmina da água (D)	2	1,443 [*]	4,829 [*]	0,0006 [*]	0,0032 [*]
A*C	1	0,002 ^{ns}	0,104	0,0001 ^{ns}	0,0220 [*]
A*D	2	0,090 ^{ns}	8,085 [*]	0,0078 [*]	0,0048 [*]
C*D	2	0,282 [*]	9,952 [*]	0,0005 [*]	0,0024 [*]
A*C*D	2	0,083 ^{ns}	3,502 [*]	0,0002 [*]	0,0008 [*]
Erro	24	0,082	0,202	0,0000	0,0000
CV%		5,14	5,41	4,18	3,31
		SOD		CAT	
		R	PA	R	PA
Temperatura (A)	1	73,902 [*]	44,266 [*]	0,089 ^{ns}	4,579 [*]
Cultivar (C)	1	14,187 [*]	0,523 ^{ns}	0,031 ^{ns}	11,11 [*]
Altura da lâmina da água (D)	2	117,048 [*]	229,376 [*]	7,697 [*]	3,308 [*]
A*C	1	18,922 [*]	129,125 [*]	0,000 ^{ns}	6,708 [*]
A*D	2	4,094 [*]	41,912 [*]	0,992 ^{ns}	1,326 ^{ns}
C*D	2	25,106 [*]	18,506 [*]	0,026 ^{ns}	11,280 [*]
A*C*D	2	29,321 [*]	27,905 [*]	13,231 [*]	11,643 [*]
Erro	24	0,913	0,974	0,627	0,696
CV%		4,19	3,84	18,26	21,97
		APX		Clorofila	Carotenoides
		R	PA	PA	PA
Temperatura (A)	1	5,130 [*]	0,045 ^{ns}	0,168 [*]	0,146 [*]
Cultivar (C)	1	4,935 [*]	15,158 [*]	0,000 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Altura da lâmina da água (D)	2	1,589 [*]	4,670 [*]	0,132 [*]	0,110 [*]
A*C	1	0,976 [*]	5,824 [*]	0,025 [*]	0,006 ^{ns}
A*D	2	3,647 [*]	0,028 ^{ns}	0,205 [*]	0,153 [*]
C*D	2	0,516 [*]	0,485 [*]	0,065 [*]	0,207 [*]
A*C*D	2	4,153 [*]	2,925 [*]	0,014 ^{ns}	0,045 [*]
Erro	24	0,089	0,056	0,005	0,007
CV%		13,04	7,70	6,49	18,32

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} = Não significativo.

A concentração de H₂O₂ na parte aérea da cultivar IRGA 425 na temperatura de 17 °C não foi alterada pela variação da altura da lâmina de água (Figura 3 A, B). No entanto, na temperatura de 20 °C, houve redução linear da concentração de H₂O₂ (11%) pelo aumento da

altura da lâmina de água, indicando maior tolerância dessa cultivar à altura da lâmina de água, quanto ao desenvolvimento da parte aérea. Por outro lado, a cultivar Epagri 114, na temperatura de 17 °C, apresentou aumento de 60% na concentração H_2O_2 na parte aérea com o aumento da lâmina de água de 1 para 9 cm, não sendo influenciada pela temperatura de 20 °C. Nas raízes (Figura 3 C), ambas as cultivares apresentaram aumento da concentração de H_2O_2 com o aumento da lâmina de água, sendo a maior alteração para a Epagri 114, com 15% de aumento pelo acréscimo da lâmina de água de 1 para 9 cm. Dessa forma, verifica-se que o sistema radicular é mais sensível do que a parte aérea em relação ao aumento da lâmina de água. Observa-se também que, de maneira geral, a cultivar Epagri 114 apresentou concentração de H_2O_2 nas raízes mais elevada, comparado a IRGA 425 em todas as alturas de lâmina de água, portanto mostrando-se mais sensível.

O aumento da concentração de H_2O_2 tem sido verificado não apenas em condições de temperaturas mais baixas que o ideal (25 °C) para crescimento do arroz, mas também em condições de temperaturas mais elevadas que o ideal. Bhattacharjee (2012), avaliando o efeito das temperaturas do ar de 8, 25 e 40 °C em duas cultivares de arroz durante 24 horas relatou aumento na concentração de H_2O_2 nas raízes e parte aérea nos extremos de temperatura (40 e 8 °C) em comparação à testemunha (25 °C). Também em arroz, Matsumura et al. (2002) avaliaram o efeito à exposição à temperaturas variando de 5 a 25 °C. Nesse estudo, a concentração de H_2O_2 em folhas de arroz aumentou temporalmente em plantas expostas a temperatura baixa, e isso resultou no aumento de folhas senescentes. Segundo os mesmos autores, a exposição à baixa temperatura por um período prolongado pode levar à acumulação de H_2O_2 e perturbação do equilíbrio do estado redox das plantas. Alterações morfofisiológicas no sistema radicular por baixa temperatura também foram verificadas em cucurbitáceas (*Cucumis sativus* L.). Zhang et al. (2012) encontraram redução da massa fresca e aumento da concentração de H_2O_2 na temperatura de 14 °C comparado aos 24 °C. De acordo com esses autores, as EROs são produzidas a um baixo nível em organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos em condições de crescimento ótimas, enquanto a sua produção é marcadamente aumentada durante o estresse. De acordo com Cheng et al. (2007), o H_2O_2 apresenta função na mediação da transdução de sinal em resposta a estresses bióticos e abióticos em células vegetais, sendo a cultura do arroz sensível até mesmo em leve estresse por frio particularmente nos estágios iniciais do estabelecimento da plântula, sendo as cultivares japônicas geralmente mais tolerantes do que a maioria das cultivares índicas.

Em relação à peroxidação lipídica (concentração de MDA) nas raízes, houve leve redução da concentração tanto para a cultivar IRGA 425 como para a Epagri 114 com a elevação da lâmina de água na temperatura de 17 °C (Figura 4 A).

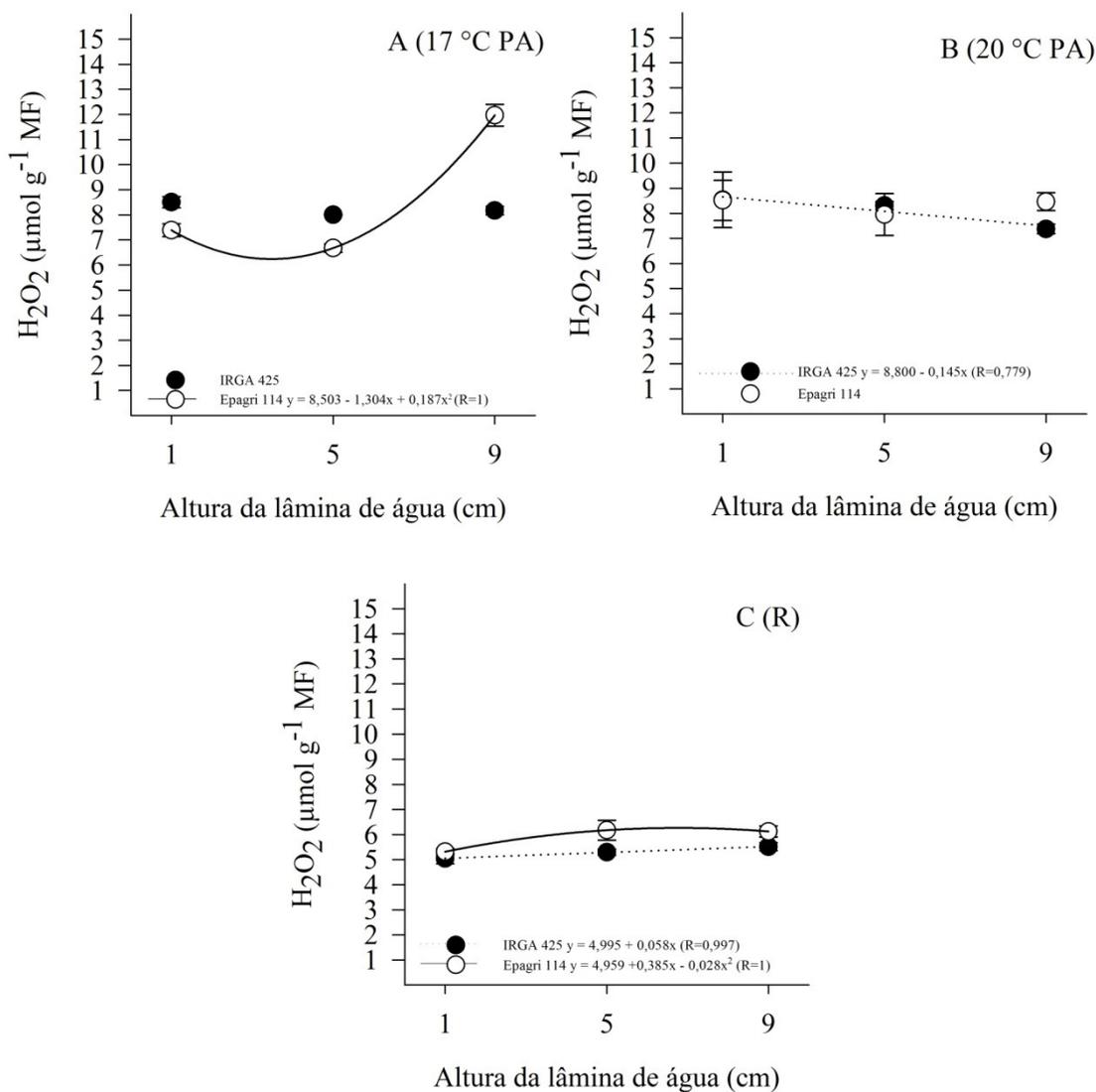


Figura 3 – Concentração de H₂O₂ na parte aérea (PA) (A, B) na temperatura de 17 °C e 20 °C e concentração de H₂O₂ nas raízes (R) (C) aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

Com o aumento da temperatura para 20 °C (Figura 4 B), ocorreu pequena alteração na concentração de MDA em relação às lâminas de água, sendo a maior concentração observada

na lâmina de água de 5 cm de altura com níveis de MDA no tecido das raízes de 38% e 16% mais elevado comparado à lâmina de 1cm para as cultivares IRGA 425 e Epagri 114, respectivamente.

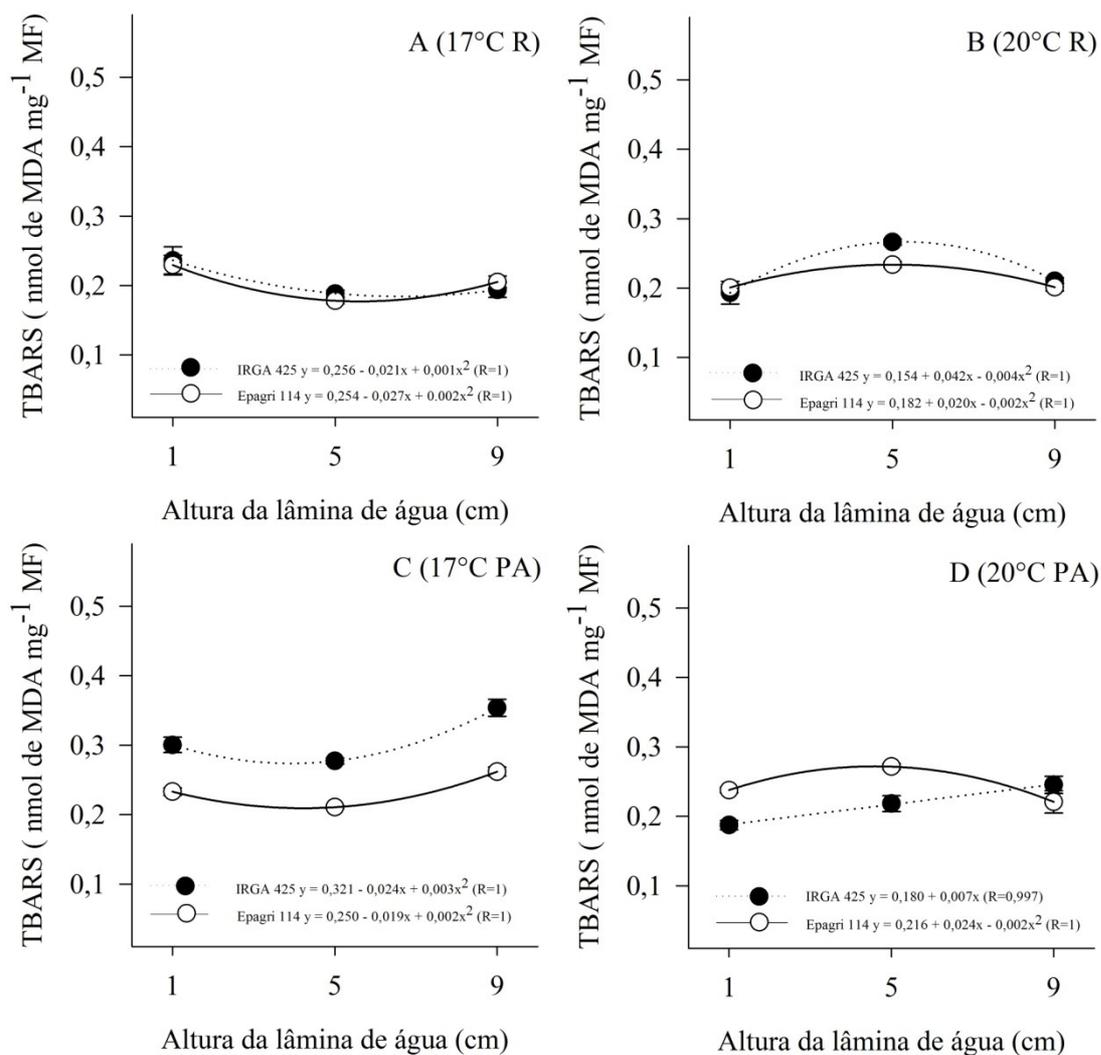


Figura 4 – Peroxidação lipídica em raízes (R) (A, B) e na parte aérea (PA) (C, D) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

O aumento dos níveis de MDA nas raízes pode ser explicado devido ao aumento da concentração de H₂O₂, resultando em maior peroxidação lipídica (ELLA et al., 2003; UPADHYAYA et al., 2007), explicando a restrição do desenvolvimento radicular ocorrida

para as duas cultivares com o aumento da altura da lâmina de água. A peroxidação lipídica é considerada um dos processos conhecidos mais prejudiciais nos seres vivos, demonstrando por sua vez o dano ocorrido nas membranas celulares (GILL & TUJETA, 2010). Além disso, a peroxidação lipídica pode ter danificado o cloroplasto, inibindo a síntese de clorofila e, conseqüentemente, a fotossíntese (ELLA et al., 2003).

Na parte aérea (Figura 4 C), ao contrário do que ocorreu nas raízes na temperatura de 17 °C, houve aumento da concentração de MDA com o aumento da lâmina de água de 1 para 9 cm, sendo esse aumento de 18% para a cultivar IRGA 425 e 12% para a cultivar Epagri 114, podendo também ser explicado pela maior produção de H₂O₂. Nesse estudo não foram verificadas grandes diferenças na concentração de MDA em relação à variação da temperatura. No entanto, alguns estudos mostram aumento da concentração de MDA com a diminuição da temperatura (SHI et al., 2006; BONNECARRÈRE et al., 2011; KIM & TAI, 2011). Aos 20 °C (Figura 4 D), também verificou-se esse comportamento, com aumento de 31% para IRGA 425. Para Epagri, o aumento de MDA foi observado na lâmina de 5 cm, sendo 14% superior à concentração de MDA em 1 cm.

A atividade da SOD nas raízes (Figura 5 A, B) aumentou com a elevação da lâmina de água nas temperaturas de 17 °C e 20 °C para ambas as cultivares, com maior atividade na lâmina de 9 cm. Para cultivar IRGA 425, esse aumento foi de 53 e 20% para as temperaturas de 17 °C e 20 °C, respectivamente. Já para Epagri 114 o aumento na atividade da SOD foi de 12 e 42% para a temperatura 17 °C e 20 °C, respectivamente. Observa-se também, de forma geral, que houve maior atividade da SOD na temperatura mais baixa (17 °C).

Na parte aérea (Figura 6 A, B) a atividade da SOD foi semelhante à atividade nas raízes. Para as duas cultivares e temperaturas do ar, a maior atividade da SOD foi na lâmina de 9 cm. Nessa altura de lâmina de água, a atividade da SOD na Epagri 114, foi 73 e 8% maior na lâmina de 9 cm comparada a 1 cm para a temperatura 17 °C e 20 °C, respectivamente. Na IRGA 425, esse aumento na atividade foi de 46 e 36% nas temperaturas de 17 °C e 20 °C, respectivamente. De forma semelhante ao verificado na raiz, a atividade da SOD também foi mais elevada na temperatura mais baixa. Baseado nos resultados expressos na Figura 6 A e B, verifica-se que a cultivar Epagri 114 mostra maior sensibilidade à altura da lâmina de água na menor temperatura (17 °C) em comparação à IRGA 425. No entanto a IRGA 425 apresenta comportamento similar nas duas temperaturas, mas também com maior atividade da SOD com lâmina de água de 9 cm de altura.

A atividade da CAT nas raízes (Figura 5 C, D) apresentou variação de acordo com a cultivar e temperaturas avaliadas. Na temperatura de 17 °C, a atividade da CAT foi maior na

menor lâmina de água, sendo 37% em relação ao maior nível de água para a cultivar IRGA 425. No entanto, na temperatura de 20 °C para a mesma cultivar, verifica-se comportamento oposto àquele da temperatura de 17 °C, com maior atividade da CAT na maior lâmina de água (9 cm). A cultivar Epagri 114 também apresentou comportamento diferenciado na atividade da CAT em relação à temperatura, com atividade de 62% maior na lâmina de 9 cm, comparado à menor lâmina de água. No entanto, na temperatura de 20 °C, essa cultivar apresentou maior atividade da CAT na menor lâmina de água (1cm), decrescendo linearmente com o aumento da lâmina de água.

Na parte aérea das plantas (Figura 6 C, D) nas duas temperaturas, a cultivar IRGA 425 apresentou elevação da atividade da CAT com aumento da lâmina de água. Entretanto, a Epagri 114 apresentou maior atividade na menor lâmina de água na temperatura mais baixa (17 °C) e, com o aumento da temperatura, verificou-se aumento da atividade com o aumento da lâmina, com atividade 71% maior na lâmina de 5 cm em relação a 1 cm. Observa-se também que, de maneira geral, na menor temperatura, a atividade da CAT foi maior na IRGA 425, já na temperatura de 20 °C, as cultivares não apresentaram diferenças.

A atividade da APX nas raízes (Figura 5 E, F) para a cultivar IRGA 425 foi maior na maior lâmina de 9 cm, sendo 100% superior comparado à lâmina de água de 1 cm na temperatura de 17 °C. No entanto, aos 20 °C, verificou-se maior atividade da APX para essa cultivar na lâmina de 1 cm, apresentando redução com o aumento da altura da lâmina. A Epagri 114 apresentou comportamento distinto da IRGA 425, sendo à maior atividade da APX na lâmina de 1 cm para temperatura de 17 °C, 30% superior em relação a maior lâmina (9 cm), aumento a atividade com o aumento da temperatura e aumento da lâmina de água. Na parte aérea (Figura 6 E, F), a cultivar IRGA 425 e a Epagri 114 apresentaram, de maneira geral, maior atividade da APX na menor altura de lâmina (1 cm). Observa-se também que a Epagri 114, exceto para a lâmina de 5 cm de altura na temperatura de 17 °C, apresenta maior atividade da APX quando comparado à IRGA 425 nas demais alturas de lâmina de água e temperaturas.

Assim, verifica-se que dentre as enzimas antioxidantes avaliadas (SOD, CAT e APX) ocorreu uma variação entre as cultivares utilizadas para essas enzimas. No entanto, entre elas, a SOD se destacou como uma enzima importante do sistema de defesa do arroz, demonstrando claramente o efeito da temperatura e da altura da lâmina de água na cultura do arroz irrigado. Isso porque a SOD é a primeira enzima que atua no processo de destoxificação, convertendo o radical ânion superóxido para peróxido de hidrogênio (DAMANIK et al., 2012), já a CAT e APX catalisam a redução do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio

(ELLA et al., 2003). Segundo Damanik et al. (2012), uma combinação eficiente da SOD e CAT minimizaria os efeitos do estresse oxidativo, apresentando papel importante na regulação das EROs. De acordo com Saher et al. (2005), a SOD é uma enzima chave na resposta à condição de anóxia, podendo ser resultado em virtude da formação de H_2O_2 em níveis tóxicos. Está bem estabelecido que vários estresses ambientais muitas vezes aumentam a geração de EROs, em que a SOD tem sido importante na tolerância aos stresses de plantas, sendo a primeira linha de defesa contra os efeitos tóxicos dos níveis elevados de EROs (GILL & TUJETA, 2010). De acordo com Bonnacarrère et al. (2011), a atividade elevada da SOD pode ser vantajosa para estabelecer a tolerância durante as primeiras horas de stresses por frio. Em outras espécies, como *Cucumis sativus* L., Zhang et al. (2012) encontraram aumento na atividade da SOD na baixa temperatura, sem efeito na CAT e APX. Bonnacarrère et al. (2011) relatam que vários estudos demonstram diferenças no comportamento da SOD, CAT e APX após a exposição da planta à temperatura baixa, tanto em genótipos tolerantes quanto em suscetíveis, sugerindo que uma resposta da enzima antioxidante pode ou não refletir nos mecanismos envolvidos na tolerância ou susceptibilidade ao frio. Além das enzimas antioxidantes, outros estudos mostraram mais de 1900 proteínas expressadas a uma dada condição de temperatura (baixa 12 ou 20 °C; ou alta 36 ou 44 °C) em arroz, sendo 850 dessas responsivas a ambos extremos de temperatura (GAMMULLA et al., 2010).

Os tratamentos testados também influenciaram no teor total de clorofila (Figura 7 A, B) onde a cultivar IRGA 425 apresentou maior teor na menor lâmina de água (1 cm) aos 17 °C, reduzindo o teor com a elevação da lâmina de água. Aos 20 °C, não houve alteração do teor de clorofila pelo aumento da lâmina de água para essa cultivar. Para a Epagri 114, na menor temperatura, observa-se pequena elevação do teor de clorofila com o aumento da lâmina de água, mas, aos 20 °C ocorreu redução no teor de clorofila com a elevação da lâmina de água. Entre as cultivares (Tabela 3), não houve diferença para ambas as temperaturas, mas verifica-se menor teor de clorofila na maior temperatura (20 °C).

A concentração de carotenóides também foi afetada pela alteração da lâmina de água, com menor concentração na maior lâmina (9 cm), em ambas as temperaturas, para a cultivar Epagri 114 (Figura 7 C, D). Para a mesma cultivar, houve redução de 30 e 16% na concentração de carotenóides na lâmina de 9 cm comparada a 1 cm, nas temperaturas de 17 °C e 20 °C, respectivamente.

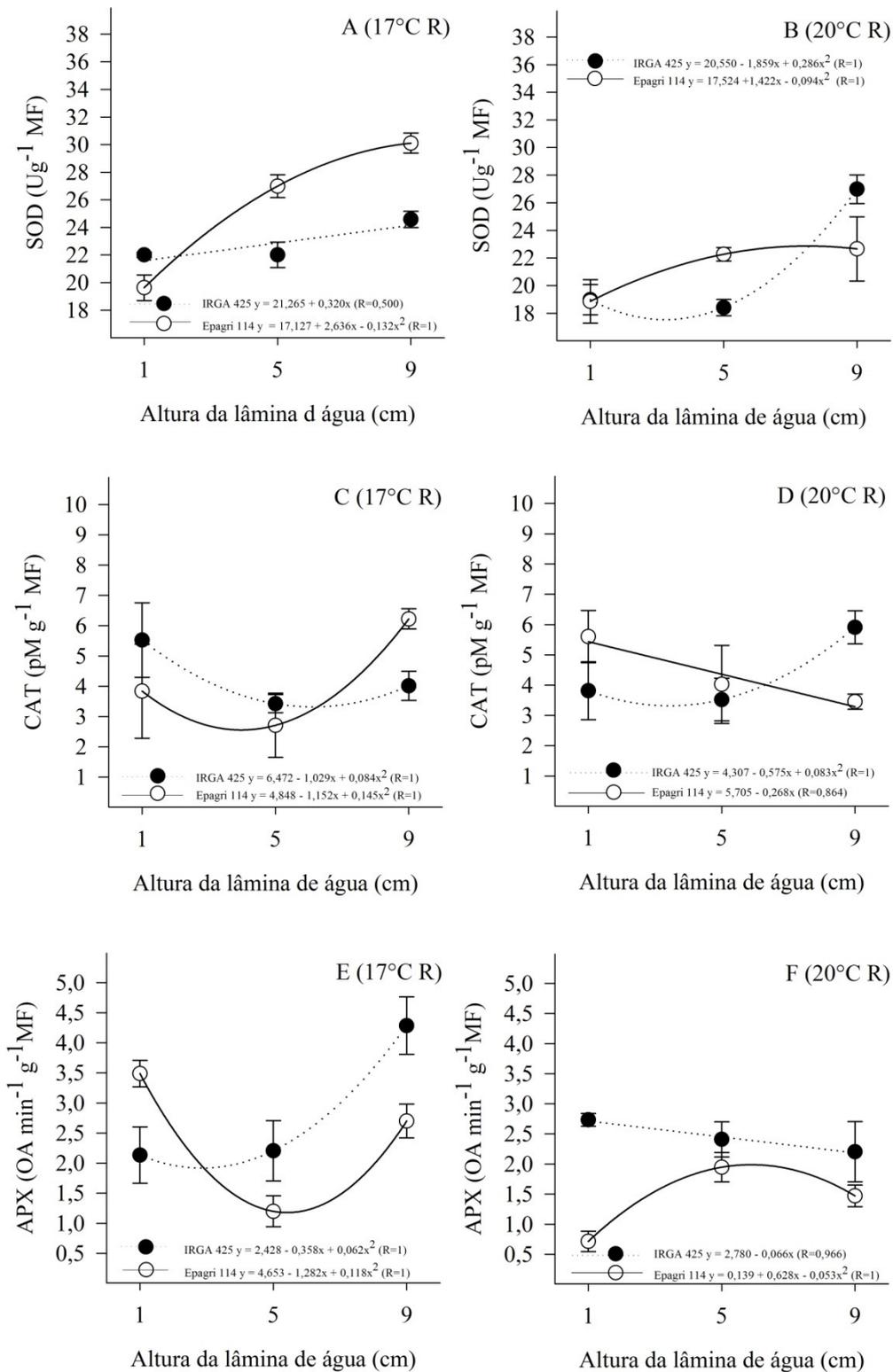


Figura 5 – Atividade da SOD (A, B), CAT (C, D) e APX (E, F) em raízes (R) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

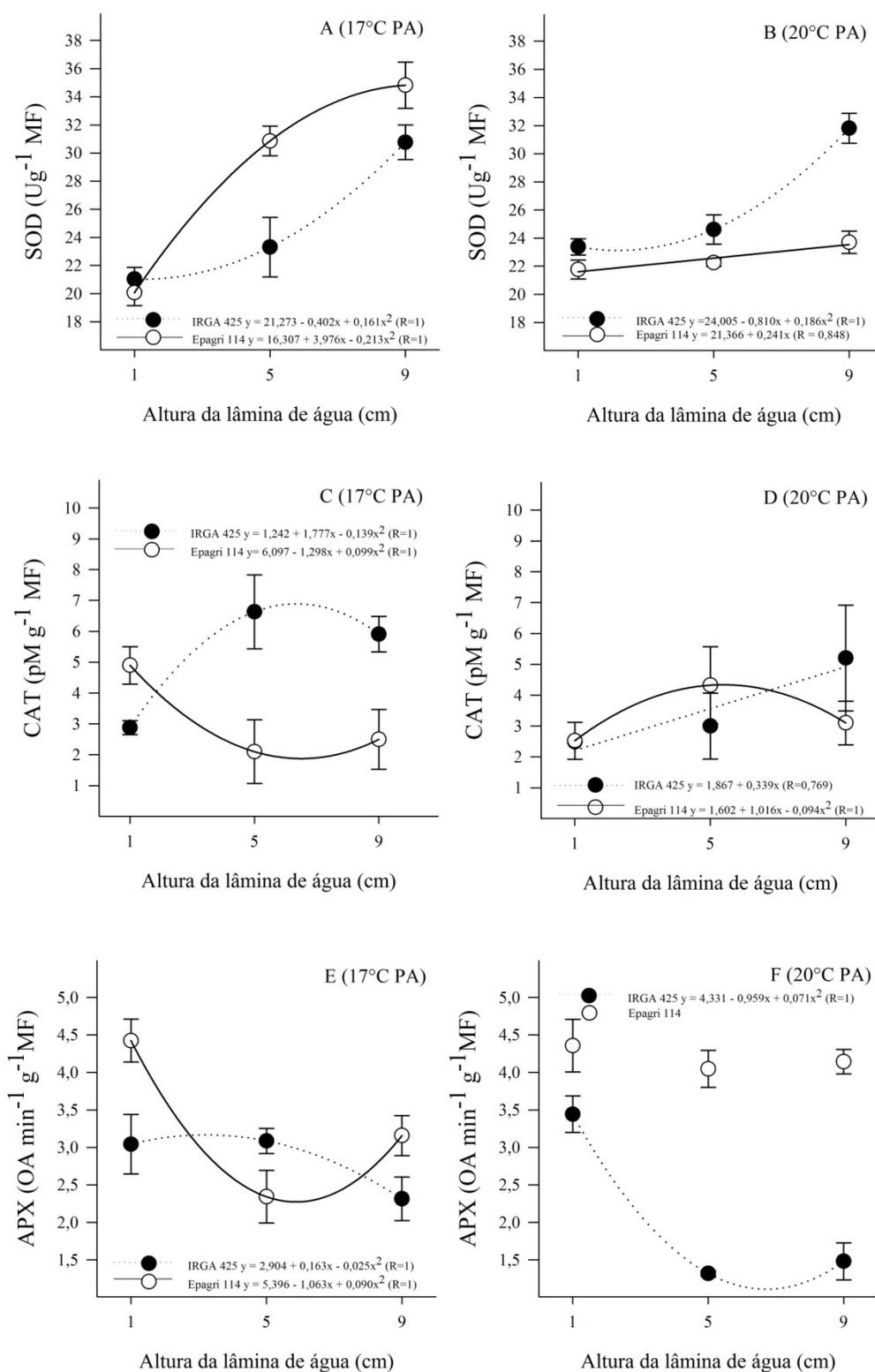


Figura 6 – Atividade da SOD (A, B), CAT (C, D) e APX (E, F) na parte aérea (PA) na temperatura de 17 °C e 20 °C aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

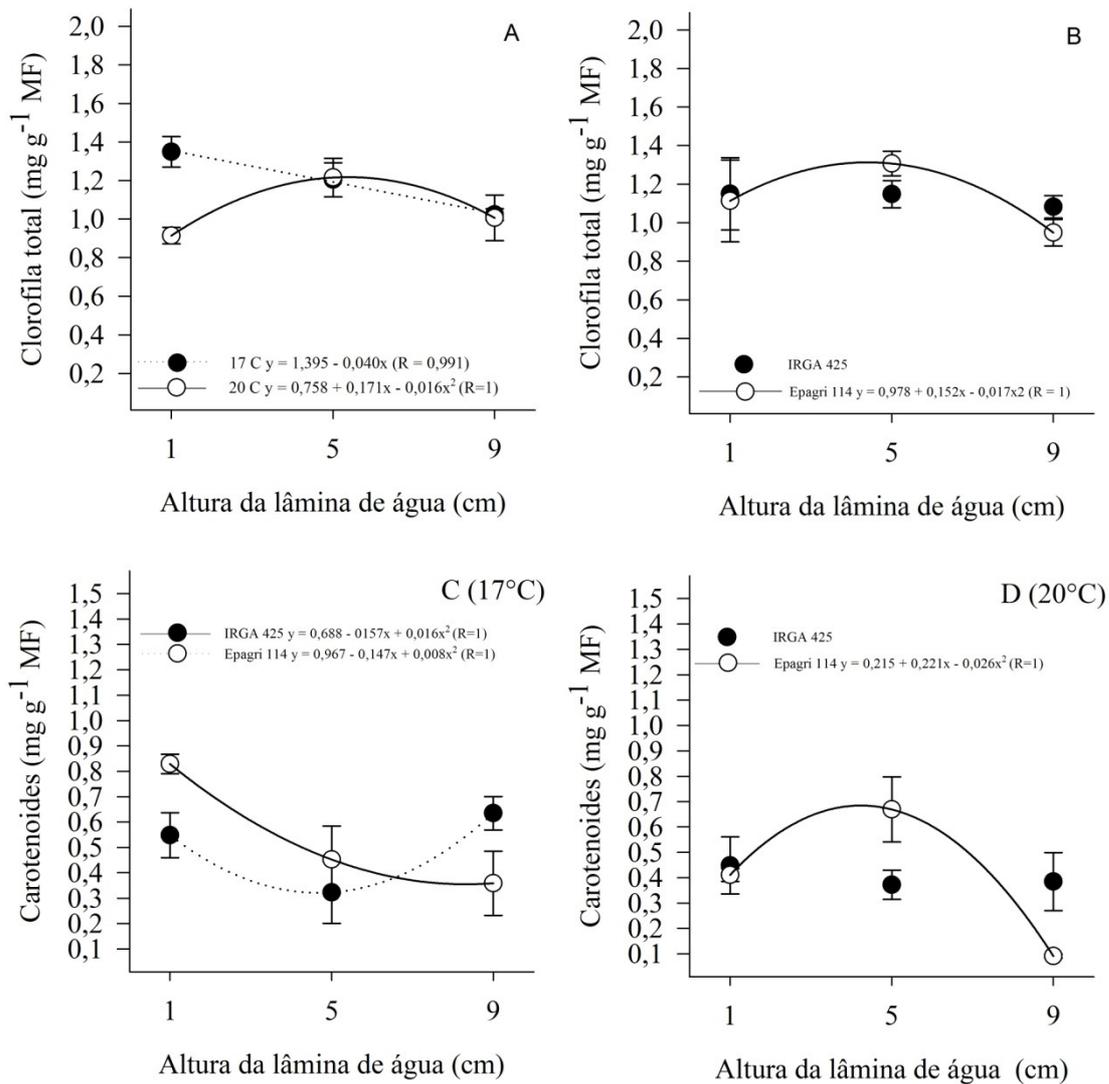


Figura 7 – Concentração de clorofila total (A, B) e carotenóides aos 17 °C (C) e 20 °C (D) aos 25 dias após a semeadura (DAS) em função da cultivar de arroz e da altura da lâmina de água. Santa Maria, RS. 2013.

Por outro lado, a IRGA 425 sofreu menor interferência da temperatura e da lâmina de água. As menores concentrações de clorofila e de carotenóides, com o aumento da lâmina de água pode ser reflexo do aumento da concentração de H₂O₂. Upadhyaya et al. (2007), avaliando o efeito de diferentes concentrações (0 a 1 mM) de H₂O₂ em folhas primárias de arroz, encontraram menores teores de clorofila e carotenóides com o aumento da concentração de H₂O₂.

Os carotenóides b-caroteno e zeaxantina e os tocoferóis apresentam papel fotoprotetor importante, seja por dissipação do excesso de energia como calor ou por limpeza da EROs (GILL & TUJETA, 2010). De acordo com esses autores, existem mais de 600 carotenóides que ocorrem na natureza. Carotenóides como neoxantina e luteína foram associados aos processos de limpeza de EROs (BONNECARRÈRE et al., 2011). Em trabalho realizado por Shi et al. (2006), avaliando os efeitos de baixa temperatura no conteúdo de pigmentos fotossintéticos e atividade de enzimas antioxidantes em folhas bandeira de duas variedades de arroz, encontraram diminuição do conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila e carotenóides) com a diminuição da temperatura. No entanto, o menor teor de clorofila verificado no presente estudo para a maior temperatura (20 °C) pode ser explicado pelo efeito de diluição devido ao maior crescimento observado das plantas, através da medição da massa seca nessa temperatura quando comparada aos 17 °C (Tabela 3). A diminuição nos teores de carotenóides com o aumento da lâmina de água traz consequências marcantes em plantas, como menor crescimento e desenvolvimento, ou menor acúmulo de massa seca, como foi observado no presente estudo com o aumento da lâmina de água. Isso porque carotenóides são pigmentos importantes para absorção de luz durante a fotossíntese, e a redução deles resulta em redução da atividade fotossintética das plantas e, conseqüentemente, no desenvolvimento e crescimento delas.

Tabela 3 – Clorofila total aos 25 dias após a semeadura (DAS), em função das temperaturas do ar e das cultivares de arroz irrigado. Santa Maria, RS. 2013.

	Cultivares	
	IRGA 425	Epagri 114
17	1,167 NSa ¹	1,217 a
20	1,084 NSb	1,027 b
Média	1,125	1,122
CV%	6,49	

¹médias não seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Portanto, verificou-se que a temperatura do ar e a altura da lâmina de água são fatores importantes no processo de produção de arroz, pois podem causar estresses em plantas com

consequências na absorção de nitrogênio, no crescimento e no desenvolvimento delas. No entanto, esse comportamento foi verificado em plantas com 25 DAS e em condições constantes de temperatura. Após esse período, a recuperação ou não das plantas vai depender das condições em que elas forem expostas, podendo resultar em perdas de produtividade. O efeito causado vai depender da cultivar, visto que a resposta ao estresse varia de acordo com a tolerância da cultivar à temperatura do ar e à altura da lâmina de água utilizadas. Nesse trabalho, a menor lâmina de água (1 cm) e a maior temperatura (20 °C) resultaram em maior desempenho das plantas, devido a maior absorção de nitrogênio e acúmulo de massa seca nas plantas. Além disso, verificou-se que a cultivar IRGA 425 é mais tolerante a esses fatores em comparação à Epagri 114. O menor desempenho de plantas de arroz observado são reflexos dos estresses oxidativos ocorridos, os quais foram identificados pelos sistemas de defesa da planta enzimático e não enzimático. Esses estresses foram causados pela baixa temperatura (17 °C) e pela altura elevada da lâmina de água (9 cm). Como estratégia de manejo deve-se utilizar menor lâmina de água em arroz, no início da época de semeadura ou quando a temperatura for baixa neste período. No entanto, essa lâmina deve apresentar altura que proporcione maior absorção de nitrogênio e, conseqüentemente, maior crescimento de plantas, e controle eficiente de plantas daninhas.

Conclusão

A temperatura do ar e a altura da lâmina de água afetam a absorção de nitrogênio, o acúmulo de massa seca e o estresse oxidativo em plântulas de arroz no sistema pré-germinado, havendo diferenças entre cultivares. Os menores estresses são observados em plantas de arroz submetidas à lâmina de água de 1 cm, sob temperatura de 20 °C, sendo a cultivar IRGA 425 mais tolerante a maior altura de lâmina de água em comparação à Epagri 114.

Referências bibliográficas

AEBI, H. Catalase in vitro. **Methods Enzymology**, v.105, p.121-126, 1984.

AZAM, F. et al. Response of flooded rice (*Oryza sativa* L.) to nitrogen application at two root-zone temperature regimes in a pot experiment. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, n.1, p. 21-25, 2003.

BAGNALL, D.J. et al. Temperature dependent feedback inhibition of photosynthesis in peanut. **Planta**, v.175, n.3, p.348-354, 1988.

BHATTACHARJEE, S. An inductive pulse of hydrogen peroxide pretreatment restores redox-homeostasis and oxidative membrane damage under extremes of temperature in two rice cultivars. **Plant Growth Regulation**, 2012

BONNECARRÈRE, V. et al. Response to photooxidative stress induced by cold in *japonica* rice is genotype dependent. **Plant Science**, v.180, n.5, p.726-732, 2011.

BROCH, D.L. et al. Influência da lâmina de água e de reguladores de crescimento no estabelecimento do arroz pré-germinado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.3, n.2, p. 51-57, 1997.

CHENG, C. et al. An early response regulatory cluster induced by low temperature and hydrogen peroxide in seedlings of chilling-tolerant japonica rice, **BMC Genomics**, v.8, n.175, p. 1-18, 2007.

CHINNUSAMY, V. et al. Cold stress regulation of gene expression in plants. **Trends in Plant Science**, v.12, n.10, p.444-451, 2007.

DAMANIK, R.I. et al. Response of antioxidant systems in oxygen deprived suspension cultures of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Growth Regulation**, v.67, n.1, p.83-92, 2012.

ELLA, E.S. et al. Importance of active oxygen-scavenging system in the recovery of rice seedlings after submergence. **Plant Science**, v.165, n.1, p.85-93, 2003.

EL-MOSTHAY, F.I.B. et al. Lipid peroxidation and superoxide production in cowpea (*Vigna unguiculata*) leaves infected with tobacco ringspot virus or southern bean mosaic virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.43, p.109-119, 1993.

FREITAS, T.F.S. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2397-2405, 2008.

GAMMULLA, C.G. et al. Differential metabolic response of cultured rice (*Oryza sativa*) cells exposed to high- and low-temperature stress. **Proteomics**, v.10, n.16, p.3001-3019, 2010.

GILL, S.S.; TUJETA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, n.12, p.909-930, 2010.

HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G.E. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, v.57, p.1132-1134, 1979.

KANNO, K. et al. High night temperature stimulates photosynthesis, biomass production and growth during the vegetative stage of rice plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.55, n.1, p.124-131, 2009.

KANIUGA, Z. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. **Plant Biology**, v.10, n.2, p.171-184, 2008.

KATSURA, K. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China 'A cross-location analysis. **Field Crops Research**, v.107, n.1, p.1-11, 2008.

KAWANO, N. et al. Metabolic changes in rice seedlings with different submergence tolerance after desubmergence. **Environmental and Experimental Botany**, v.47, n.3, p.195-203, 2002

KIM, S.I.; TAI, T.H. Evaluation of seedling cold tolerance in rice cultivars: a comparison of visual ratings and quantitative indicators of physiological changes. **Euphytica**, v.178, n.3, p.437-447, 2011.

KOCSY, G. et al. Low temperature and oxidative stress in cereals. **Acta Agronomica Hungarica**, v.59, n.2, p. 169-189, 2011.

LACK, S. et al. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars. **Advances in Environmental Biology**, v.6, n.1, p.406-413, 2012.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranas. **Methods Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.

LORETO, F.; VELIKOVA, V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. **Plant Physiology**, v.127, p.1781-1787, 2001.

MAHAJAN, S.; TUJETA, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. **Archives of Biochemisry and Biophysics**, v.444, n.2, 139-158, 2005.

MATSUMURA, T. et al. Wheat catalase expressed in transgenic rice can improve tolerance against low temperature stress. **Physiologia Plantarum**, v.116, n.3, p.317-327. 2002.

MISRA, H.P.; FRIDOVICH, I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and simple assay for superoxide dismutase. **Journal of Biological Chemistry**, v.244, p.6049-6055, 1972.

MITTAL, D. et al. Heat shock factor gene family in rice: Genomic organization and transcript expression profiling in response to high temperature, low temperature and oxidative stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.47, n.9, p.785-795, 2009.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v.7, n.9, p.405-410, 2002.

OHASHI, K. et al. Growth and carbon utilization of rice plants under conditions of physiologically low temperature and irradiance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.27, n.2, p. 99-107, 2000.

OHSUMI, A. et al. Varietal differences in biomass production of rice early after transplanting at low temperatures. **Plant Production Science**, v.15, n.1, p.32-39, 2012.

RANAWAKE, A.L. et al. Expression profiles of stress responsive genes in rice (*Oryza sativa* L.) under abiotic stresses. **Agriculture and Environmental Biotechnology**, v.26, n.2, p.2838-2843, 2012.

- SAFDAR, M.E. et al. Effect of transplanting dates on paddy yield of fine grain rice genotypes. **Pakistan Journal of Botany**. v.40, n.6, p.2403-2411, 2008.
- SALGUERO, A. et al. Carotenoids as protective response against oxidative damage in *Dunaliella bardawil*. **Biomolecular Engineering**, v.20, n.4-6, p.249-253, 2003.
- SAHER, S. et al. Reducing properties, energy efficiency and carbohydrate metabolism in hyperhydric and normal carnation shoots cultured in vitro: a hypoxia stress?. **Plant Physiol Biochem.**, v.43, n.6 p.573-582, 2005.
- SHI, D.W. et al. Effects of low temperature on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in flag leaves of high-yielding hybrid rice cultivars. **Journal of Ecology and Rural Environment**, v.22, n.2, p.40-44, 2006.
- SHIMONO, H. et al. Nitrogen uptake by rice (*Oryza sativa* L.) exposed to low water temperatures at different growth stages. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.198, n.2, p.145-151, 2012.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / 28. Reunião Técnica da cultura do Arroz Irrigado**, Bento Gonçalves, RS. Porto Alegre, 2010. 188 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.
- UPADHYAYA, H. et al. Hydrogen peroxide induces oxidative stress in detached leaves of *Oryza sativa* L. **Gen. Appl. Plant Physiolog**, v.33, n.1-2, p. 83-95, 2007
- WIELEWICKI, A.P. et al. Atividade enzimática de genótipos de arroz irrigado sob diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.9, n.1-2, p.25-31, 2003.
- ZHANG, Y.P. et al. Temperature effects on the reactive oxygen species formation and antioxidant defence in roots of two cucurbit species with contrasting root zone temperature optima. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n.2, p.713-720, 2012.
- ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A época de semeadura de arroz irrigado é uma prática de manejo muito importante, interferindo em diversos parâmetros agronômicos da cultura. A semeadura no início da época recomendada (setembro e outubro) para a região Central do Estado do Rio Grande do Sul proporciona os melhores resultados de rendimento de grãos de arroz e também de controle de arroz-vermelho, pois, em função das temperaturas do ar e do solo serem mais baixas nessa época ocorre menor germinação e emergência de arroz-vermelho. No entanto deve-se ficar atento para o manejo da área, ou o sistema de cultivo que é utilizado, pois as sementes de arroz-vermelho que ficam na superfície do solo são mais expostas às condições ambientais como temperatura, oxigênio e umidade e isso, contribui para superação da dormência de sementes, podendo germinar e emergir mesmo na semeadura do início da época recomendada.

Além dos aspectos de rendimento de grãos e controle de arroz-vermelho, a eficiência no uso da água da lavoura é aumentada na semeadura do início da época, em função das menores perdas de água por evaporação e também pela maior contribuição das precipitações pluviais em anos normais, além do aumento do rendimento de grãos que reflete em maior eficiência no uso da água na lavoura.

A semeadura realizada no final da época (novembro) e na época tardia (dezembro) é uma alternativa que contribui para reduzir o banco de sementes de arroz-vermelho da área, devido a um maior período de tempo para controle através de métodos de controle químico ou físico das plântulas de arroz-vermelho que emergem na área em comparação à semeadura no início da época. Mas, deve-se tomar cuidado na escolha dessa época de semeadura, pois dependendo do ciclo da cultivar o período reprodutivo da cultura pode coincidir com condições de temperatura do ar e radiação solar menos favoráveis à obtenção de elevado rendimento, comprometendo o rendimento de grãos do arroz.

Além da época de semeadura, o controle químico através do uso de imazapyr+imazapic na dose recomendada para a cultura em dois momentos, em PRE e POS emergência no estágio V3 do arroz cultivado ou somente em POS emergência é eficiente no controle de arroz-vermelho, desde que o manejo da irrigação da lavoura seja adequado conforme as recomendações para cultura e não haja presença de arroz-vermelho resistente a esses herbicidas.

No entanto, as temperaturas mais baixas (17° C) do ar e do solo que ocorrem normalmente na semeadura do início da época, pode reduzir a absorção de nitrogênio e

acúmulo de massa seca no sistema radicular e na parte aérea, com respostas diferenciadas de acordo com a tolerância da cultivar de arroz à baixa temperatura. Esse efeito também foi observado quando o arroz foi cultivado no sistema pré-germinado em níveis de lâmina de água (9 cm) no período inicial de desenvolvimento das plantas (25 dias) devido em parte à estresses oxidativos que ocorrem nessas condições, como elevação da atividade da superóxido dismutase. Entretanto, são necessários mais estudos para melhor explicar a menor absorção de nitrogênio e o menor crescimento e desenvolvimento das plantas em temperaturas baixas e alturas mais elevadas de lâmina de água. Ressalte-se que esse comportamento foi observado no período inicial de desenvolvimento das plantas, podendo não se refletir no rendimento de grãos da cultura.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v.31, n.2, p.341-349, 2001.
- AHMAD, S. et al. Water and radiation use efficiencies of transplanted rice (*oryza sativa* l.) At different plant densities and irrigation regimes under semi-arid environment. **Pakistan Journal of Botany**. v.40, n.1, p. 199-209, 2008.
- AKBAR, N. et al. Effect of different sowing dates on the yield and yield components of direct seeded fine rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.22, n.10, p.312-315, 2010
- AVILA, L. A. et al. Effect of flood timing on red rice (*Oryza* spp.) control with imazethapyr applied at different dry-seeded rice growth stages. **Weed Technology**. v.19, n.2, p.479-480, 2005.
- BONNECARRÈRE, V. et al. Response to photooxidative stress induced by cold in *japonica* rice is genotype dependent. **Plant Science**, v.180, n.5, p.726-732, 2011
- BOUMAN, B.A.M; TUONG, T.P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland Rice. **Agricultural Water Management**, v.49, n.1, p.11-30, 2001.
- BURGOS, N. R. et al. Red rice status after five years of Clearfield™ rice technology in Arkansas. **Weed Technology**, v.22, n.1, p.200-208, 2008.
- BURGOS, N.R. et al. Competitive N uptake between rice and weedy rice. **Field Crops Research**, v.99, n.2-3, p.96-105, 2006.
- CHAHAL, G.B.S. et al. Yield, evapotranspiration and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system in Punjab-India as influenced by transplanting date of rice and weather parameters. **Agricultural Water Management**, v.88, n.1-3, p.14-22, 2007.
- ELLA, E.S. et al. Importance of active oxygen-scavenging system in the recovery of rice seedlings after submergence. **Plant Science**, v.165, n.1, p. 85-93, 2003.

FAROOQ, M. et al. Chapter 6 Strategies for Producing More Rice with Less Water. **Advances in Agronomy**, v.101, p.351-358, 2009.

FARREL, T.C. et al. Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: Screening with cold air and cold water. **Field Crops Research**, v.98, n.2-3, p.178-194, 2006

FOGLIATTO, S.; VIDOTTO, F.; FERRERO, A. Germination of Weedy Rice in Response to Field Conditions during Winter. **Weed Technology**, v.25, n.2, p.252-261, 2011.

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

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

FOYER, C.H.; LELANDAIS, M.; KUNERT, J.K. Photooxidative stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v.92, n.4, p.696-717, 1994.

FREITAS, T.F.S. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2397-2405, 2008

GEALY, D. R. et al. Emergence of red rice (*Oryza sativa*) ecotypes under dry-seeded rice (*Oryza sativa*) culture. **Weed Technology**, v.14, n.2, p.406-412, 2000.

GIANINETTI, A. et al. Ethylene Production is Associated with Germination but not Seed Dormancy in Red Rice. **Annals of Botany**, v.99, n.4, p.735-745, 2007

GIANINETTI, A.; COHN, M. A. Seed dormancy in red rice. XIII: Interaction of dry-afterripening and hydration temperature. **Seed Science Research**, v.18, n.3, p.151-159, 2008

GILL, S.S.; TUJETA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, n.12, p.909-930, 2010.

GUNAWARDENA, T. A., et al. Low temperature induced spikelet sterility in rice. II. Effects of panicle and root temperatures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.54, n.10, p.947-956, 2003

GUTTERIDGE, J.M.C. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. **Clinical Chemistry**, v.41, n.12, p.1819-1828, 1995.

JAGADISH, S.V.K.; CRAUFURD, P.Q.; WHEELER, T.R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.7, p.1627-1635, 2007

JALOTA, S.K. et al. Integrated effect of transplanting date, cultivar and irrigation on yield, water saving and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.) in Indian Punjab: Field and simulation study. **Agricultural Water Management**, v. 96, n.7, p.1096-1104, 2009.

KOCSY, G. et al. Low temperature and oxidative stress in cereals. **Acta Agronomica Hungarica**, v.59, n.2, p. 169-189, 2011.

LACK, S.; MARANI, N.M; MOMBENI, M. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars. **Advances in Environmental Biology**, v.6, n.1, p.406-413, 2012

LEON, C.T. et al. Water Management and Chemical Control of Red Rice (*Oryza punctata*) in Water-Seeded Imidazolinone-Resistant Rice. **Weed Technology**, v.22, n.1, p.132-135, 2008.

LEVY, R.J. et al. Effect of cultural practices on weed control and crop response in imidazolinone-tolerant rice. **Weed Technology**. v.20, n.1, p.249–254. 2006.

LIMA, A.L. et al. Esterilidade de espiguetas de arroz irrigado em função da época de semeadura – safra 2004-/05. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., Santa Maria, 2005. Anais. Santa Maria, Orium, 2005. v.1.p.238-240.

LINSCOMBE, S. D. et al. Rice Response to Planting Date Differs at Two Locations in Louisiana. **Crop Management**, 2004

MACHADO, S. L. de O. et al. Os recursos hídricos e a lavoura arrozeira. **Revista Ciência Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.97-106, 2003.

MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.

MAHAJAN, G. et al. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. **Agricultural Water Management**, v.96, n.3, p.525-532, 2009.

MARCHESAN, E. et al. Arroz tolerante a imidazolinonas: banco de sementes de arroz-vermelho e fluxo gênico. **Planta Daninha**, v.29, n.esp, p.1099-1105, 2011.

MARCHEZAN, E. et al. Controle de arroz-vermelho. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa/Informações Tecnológicas, 2004. p.547-578.

MENEZES, V. G. et al. Caracterização de biótipos de arroz-vermelho em lavouras de arroz no estado do rio grande do sul. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.221-227, 2002.

MERTZ, L. M. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.254-262, 2009.

MITTAL, D. et al. Heat shock factor gene family in rice: Genomic organization and transcript expression profiling in response to high temperature, low temperature and oxidative stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.47, p.785–795, 2009.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v.7, n.9, p.405-410, 2002.

MONTEALEGRE, F.; VARGAS, J.P. Efecto de algunas practicas culturales sobre la población de arroz rojo y los rendimientos del arroz comercial. **Arroz**, v.38, n.359, p. 19-24, 1989.

MORADPOUR, S. et al. Effect of planting date and plant density on yield and yield components of rice. **Ecology, Environment and Conservation**, v. 17, n.2, p. 251-256, 2011

NGUYEN, H.T. et al. Physiological responses to various water saving systems in rice. **Field Crops Research**, v.112, p.189-198, 2009.

NIKI, E. Lipid peroxidation: Physiological levels and dual biological effects. **Free Radical Biology & Medicine**, v.47, n.5, p.469-484, 2009.

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

NOLDIN, J. A. et al. Persistência do herbicida clomazone no solo e na água quando aplicado na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.401-408, 2001.

NORSWORTHY, J.K.; Oliveira, M.J. A model for predicting common cocklebur (*Xanthium strumarium*) emergence in soybean. **Weed Science**, v.55, n.4, p.341-345, 2007

OHSUMI, A. et al. Varietal differences in biomass production of rice early after transplanting at low temperatures. **Plant Production Science**, v.15, n.1, p.32-39, 2012.

OTTIS, B. V. et al. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, n.3, p. 526-533, 2003.

PEDRO JÚNIOR, M.J. et al. Estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. **Scientia Agricola**, v.52, n.1, p.96 -100, 1995

RANAWAKE, A.L. et al. Expression profiles of stress responsive genes in rice (*Oryza sativa* L.) under abiotic stresses. **Agriculture an environmental Biotechnology**, v.26, n.2, p.2838-2843, 2012.

RANG, Z.W. et al. Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in Rice. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, n.1, p.58-65, 2011

SALGUERO, A. Carotenoids as protective response against oxidative damage in *Dunaliella badawill*. **Biological Engineering**, v.20, n.4-6, p.249-253, 2003.

SANTOS, F.M. et al. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p. 405-412, 2007

SCHWANKE, A. M. L. et al. Avaliação de germinação e dormência de ecótipos de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v.26, n.3, p.497-505, 2008.

SESHU, D. V.; SORRELLS, M. E. Genetic studies on seed dormancy in rice. Los Banõs: IRRI, 1986. 390 p.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.35-52, 2005.

SHIVRAIN, V. K. et al. Red rice (*Oryza sativa*) emergence characteristics and influence on rice yield at different planting dates. **Weed Science**, v.57, n.1, p.94-102, 2009.

SLATON, N. A. et al. Seeding date effect on rice grain yields in Arkansas and Louisiana. **Agronomy journal**, v.95, n.1, p.218-223, 2003

SMITH JUNIOR, R.J. Red rice control. **Agribusiness Worldwide**, New York, September/October, p.18-23, 1992.

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

TOESCHER, C.F. et al. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da FZVA**, v.4, n.1, p. 49-57. 1997

UPADHYAYA, H. et al. Hydrogen peroxide induces oxidative stress in detached leaves of *Oryza sativa* L. **Gen. Appl. Plant Physiolog**, v.33, n.1-2, p. 83-95, 2007

VAUGHAN, L. K. et al. Is all red rice found in commercial rice really *Oryza sativa*? **Weed Science**, v.49, n.4, p.468-476, 2001.

YAO, F. et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. **Field Crops Research**, v.126, n.14, p.16-22, 2012

YOSHIDA, S. **Fundamental of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269 p.

YOUNG-SON CHO. Germination Characteristics of Korean and Southeast Asian Red rice (*Oryza sativa* L.) Seeds as Affected by Temperature. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.9, n.2, p.104-107, 2010.