

Esta tese foi conduzida objetivando avaliar o efeito de altas temperaturas na antese sobre a esterilidade de espiguetas, a produção e a qualidade de grãos em genótipos de arroz irrigado. A pesquisa revelou que existem diferenças entre os genótipos de arroz irrigado na tolerância a temperaturas elevadas durante a floração da cultura, as quais podem ser exploradas pelos programas de melhoramento para desenvolver cultivares tolerantes a este estresse abiótico.

Orientador: Ph.D. Luis Sangoi

Coorientador: Dr. Rubens Marschalek

Lages, 2020

ANO
2020

NATALIA MARIA DE SOUZA | ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS NA ANTESE
EM GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

TESE DE DOUTORADO

ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS NA ANTESE EM GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO

NATALIA MARIA DE SOUZA

LAGES, 2020

NATALIA MARIA DE SOUZA

**ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS NA ANTESE EM GENÓTIPOS DE
ARROZ IRRIGADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau
de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Ph.D. Luis Sangoi
Coorientador: Dr. Rubens Marschalek

**LAGES, SC
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Souza, Natalia Maria de

Estresse por altas temperaturas na antese em genótipos de arroz irrigado / Natalia Maria de Souza. -- 2020.

118 p.

Orientador: Luis Sangoi

Coorientador: Rubens Marschalek

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2020.

1. Oryza sativa. 2. Florescimento. 3. Calor. 4. Esterilidade. 5. Produtividade. I. Sangoi, Luis. II. Marschalek, Rubens. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV. Título.

NATALIA MARIA DE SOUZA

**ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS NA ANTESE EM GENÓTIPOS DE
ARROZ IRRIGADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.

Banca examinadora:

Orientador:

Ph.D. Luis Sangoi
CAV – UDESC

Coorientador:

Dr. Rubens Marschalek
Epagri – Estação Experimental de Itajaí

Membros:

Dr. Clovis Arruda de Souza
CAV – UDESC

Dr. Ricardo Trezzi Casa
CAV – UDESC

Ph.D. Paulo Regis Ferreira da Silva
UFRGS

Dra. Paula Bianchet
IFRS – Campus de Bento Gonçalves

Lages, SC, 14/02/2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu bom e querido Deus, pela presença constante em minha vida, por guiar os meus passos, me auxiliar sempre nas decisões e escolhas, pela proteção dada e pelas oportunidades colocadas em meu caminho.

Ao meu amor, noivo e companheiro de todas as horas Kelvin Godos, por estar ao meu lado, por ser minha fonte de amor, esperança e alegria. Por ter me apoiado e incentivado nos momentos mais difíceis dessa jornada, por jamais ter me deixado desistir, pela companhia a cada dia e por ser a pessoa que deu novo rumo e sentido à minha vida. Obrigada por ser meu presente e meu futuro, por me fazer feliz, e por transformar, junto a mim, nossos sonhos em realidade. Eu te amo!

Aos meus pais Ivonete e Daniel que sempre acreditaram em mim, me apoiaram e me deram forças para que eu continuasse, apesar de qualquer dificuldade. Agradeço pelo dom da vida e pelo amor incondicional. Obrigada por tudo, eu amo vocês!

Aos meus irmãos Daniela e Ricardo, ao meu sobrinho e afilhado Mateus e à minha sobrinha Thayna, por todo o carinho, compreensão, apoio, companheirismo, presença na minha vida e por terem me proporcionado a honra de ser madrinha e tia.

Ao professor e ‘pai’ Luis Sangoi, pelo grande exemplo de pessoa e profissional, pela oportunidade que me deu de trabalharmos juntos em mais uma jornada e, principalmente, pela excelência na orientação, no incentivo e dedicação durante todo o curso. O senhor é o melhor pai científico que alguém poderia ter, muito obrigada!

À Epagri – Estação Experimental de Itajaí (EEI) e à equipe do Projeto Arroz (Apêndice A) pela parceria, disponibilidade e ajuda no desenvolvimento do projeto de pesquisa.

Ao Dr. Rubens Marschalek, pela amizade e excelente co-orientação durante minha jornada antes e durante o doutorado, pelos conhecimentos transmitidos, pela disponibilidade para conversas, reuniões e pela ajuda prestada durante os experimentos.

Ao Samuel, por toda ajuda prestada durante o desenvolvimento dos experimentos, pelas conversas, pelas ideias trocadas, pelo conhecimento transmitido e pela amizade que levarei sempre comigo.

Ao Gildo, Geovani e demais funcionários do Projeto Arroz, pela amizade, disponibilidade, atenção, ajuda nos experimentos e transmissão de conhecimentos.

Ao CAV-UDESC, onde concluí minha graduação e mestrado e onde estou concluindo o doutorado, bem como aos professores e funcionários que fizeram parte da minha formação acadêmica.

À irmã científica Francieli, por todas as trocas de conhecimento, pelas viagens, parcerias de trabalho, conversas, confidências e pela amizade que construímos.

Aos membros do grupo de trabalho *Zea mays* e *Oryza sativa*, sob orientação do pai Luis Sangoi, os quais são como irmãos científicos. Obrigada pela convivência, amizade e oportunidade de trabalharmos juntos.

À Epagri – Ciram, em especial aos senhores Angelo Massignam e Wilian Ricce, pelo fornecimento de dados meteorológicos utilizados na elaboração desta tese.

A todos que de alguma forma me incentivaram e apoiaram durante o doutorado, que talvez não tenham sido citados, mas que quero que recebam minha gratidão.

Muito obrigada!

RESUMO

O arroz é a base alimentar para aproximadamente 50% da população mundial. Apesar do seu potencial produtivo ($14.000 \text{ kg ha}^{-1}$), a produtividade média obtida atualmente no estado de Santa Catarina é inferior a 8.000 kg ha^{-1} . Um dos fatores responsáveis por esta diferença é a sensibilidade do arroz à ocorrência de altas temperaturas durante o período reprodutivo, principalmente na antese. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de altas temperaturas durante a antese sobre o desempenho agrônômico de genótipos de arroz irrigado. Foram conduzidos quatro experimentos na Estação Experimental da Epagri em Itajaí-SC, durante as safras 2016/17, 2017/18 e 2018/19. Três experimentos foram implantados em casa de vegetação e câmara de crescimento e um a campo. O primeiro experimento testou cinco temperaturas diurnas (42, 40, 38, 36 e 34°C), por sete dias, durante a antese, em cinco genótipos de arroz irrigado (SC 676, Epagri 109, SCS116 Satoru, SCS121 CL e SCS122 Miura). O cultivo foi realizado com uma planta por balde, com crescimento e desenvolvimento em casa de vegetação. Quando as plantas estavam no início da antese, aquelas correspondentes ao tratamento térmico foram transferidas para a câmara de crescimento (12 horas de luz (dia)/12 horas de escuro (noite)), ficando por sete dias sob estresse térmico. À noite as temperaturas foram 8°C menores do que durante o dia em cada regime térmico. Após este período, elas retornaram para a casa de vegetação, onde estavam suas respectivas testemunhas, permanecendo lá até a colheita. Após maturação dos grãos, realizou-se a colheita manual das panículas, que foram debulhadas. A separação e pesagem das espiguetas cheias e vazias deu-se em seguida, para determinação da esterilidade, produção de grãos e massa de 1.000 grãos. No segundo experimento utilizou-se a mesma metodologia, diferindo no número de dias de implantação do estresse, que reduziu de sete para quatro dias. O terceiro experimento testou doze genótipos (SCS124 Sardo, SCS122 Miura, SCS121 CL, SCS116 Satoru, SCSBRS Tio Taka, Epagri 109, SC 491 ME, SC 676, SC 792, SC 806, SC 817 e SC 849) à 38°C por quatro dias durante a fase da antese, visando identificar os genótipos promissores frente à ocorrência de altas temperaturas no período reprodutivo. A metodologia utilizada seguiu o mesmo protocolo dos dois experimentos anteriores. O último experimento, realizado a campo, foi conduzido com os genótipos SC 676, Epagri 109, SCS116 Satoru, SCS121 CL e SCS122 Miura, em duas safras consecutivas (2016/17 e 2017/18). Neste trabalho fez-se o levantamento meteorológico das temperaturas atmosféricas durante o período de cultivo das plantas. Em todos os experimentos os dados foram avaliados estatisticamente através da análise de variância pelo teste F. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (experimento 1, 2 e 4) e Scott-Knott (experimento 3). No primeiro experimento, a percentagem de espiguetas estéreis foi superior a 90% em todos os genótipos nas temperaturas de 40 e 42°C . A produção de grãos variou de 0 a 62,2 g e respondeu inversamente ao aumento da temperatura. Não houve diferenças consistentes entre os genótipos na percentagem de espiguetas estéreis e na produção de grãos por planta quando submetidos ao estresse térmico por sete dias na antese, independentemente da temperatura. No segundo experimento, a linhagem SC 676 mostrou potencial para gerar uma cultivar tolerante ao estresse por altas temperaturas na antese, apresentando menores valores de esterilidade de espiguetas na faixa térmica compreendida entre 36 e 38°C e capacidade de manter inalterada a massa de 1.000 grãos, mesmo quando submetida a temperaturas de 40 e 42°C na antese. No terceiro experimento, as linhagens SC 817 e SC 806 foram os genótipos que apresentaram menores percentagens de espiguetas estéreis e maior produção de grãos por planta nos tratamentos com estresse térmico, evidenciando potencial para gerar futuras cultivares com maior tolerância ao estresse provocado por altas temperaturas na antese do arroz. No experimento conduzido a campo, as temperaturas mais elevadas registradas durante o florescimento e o enchimento de grãos na safra 2016/17 reduziram a produtividade, a massa

de 1.000 grãos, o rendimento de engenho e o percentual de grãos inteiros, em comparação com a safra 2017/18. Elas também aumentaram a esterilidade de espiguetas, a porcentagem de grãos quebrados, de grãos gessados e a área gessada. A linhagem SC 676 apresentou a maior produtividade (13.070 kg ha⁻¹), porém foi o genótipo com pior qualidade de grãos. Coletivamente, este trabalho demonstrou que temperaturas superiores à faixa entre 34 e 38°C na antese causam prejuízos a cultura do arroz, aumentando a esterilidade de espiguetas e reduzindo a produção de grãos. Os danos ocasionados são mais acentuados com o incremento no período de exposição ao estresse térmico. Existem diferenças entre os genótipos na tolerância a temperaturas elevadas na antese que podem ser exploradas pelos programas de melhoramento para desenvolver cultivares tolerantes a este estresse abiótico.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Florescimento. Calor. Esterilidade. Produtividade.

ABSTRACT

Rice is a staple food for nearly 50% of the world's population. Despite of its productive potential (14,000 kg ha⁻¹), the average rice yield currently obtained in the State of Santa Catarina is below 8,000 kg ha⁻¹. One of the factors responsible for this gap is the crop sensitivity to the heat stress during the reproductive period, especially at anthesis. This work was carried out aiming to evaluate the effect of high temperatures during anthesis on the agronomic performance of paddy rice genotypes. Four experiments were set at the Epagri Experimental Station, Itajaí, SC, during the 2016/17, 2017/18 and 2018/19 growing seasons. Three experiments were conducted in the greenhouse and growth chamber, and one in the field. The first experiment tested five daytime temperatures (42, 40, 38, 36 and 34°C) for seven days during the anthesis of five genotypes (the inbred SC 676 and the cultivares Epagri 109, SCS116 Satoru, SCS121 CL and SCS122 Miura). One plant per bucket was grown in the greenhouse. When each cultivar reached the beginning of anthesis, plants corresponding to the heat stress treatments were transferred to the growth chamber (12 hours of light (day)/12 hours of dark (night)) for seven days. At night the temperature was 8 °C lower than during the day at each thermic regime. After this period, they returned to the greenhouse, where their respective controls were, remaining there until harvest. After grain maturation, panicles were manually harvested and threshed. The separation and weighting of the filled and empty grains followed to determine the spikelet sterility, grain yield and mass of 1,000 grains. The second experiment used the same methodology, with a difference in the number of days of stress imposition, which was reduced from seven to four days. The third experiment tested twelve genotypes (SCS124 Sardo, SCS122 Miura, SCS121 CL, SCS116 Satoru, SCSBRS Tio Taka, Epagri 109, SC 491 ME, SC 676, SC 792, SC 806, SC 817 and SC 849) at 38°C for four days during anthesis, aiming to identify promising genotypes to face the occurrence of high temperatures in the reproductive period. The methodology used followed the same protocol of the two previous experiments. The last experiment was carried out in the field. It assessed five genotypes: SC 676, Epagri 109, SCS116 Satoru, SCS121 CL and SCS122 Miura in two consecutive growing seasons (2016/17 and 2017/18). The air temperatures during the crop cycle were recorded at both growing seasons. In all experiments, the data were statistically evaluated through analysis of variance by the F test. When significant, the means were compared by the Tukey test (experiment 1, 2 and 4) and Scott-Knott (experiment 3). In the first experiment, the percentage of sterile spikelet was above 90% for all genotypes in the temperatures of 40 and 42°C. Grain production per plant varied from 0 to 62.2 g and responded inversely to the increment of the temperature during anthesis. There were no consistent differences among genotypes in spikelet sterility and grain production per plant when submitted to the thermal stress for seven days at anthesis, regardless of temperature. In the second experiment, the inbred SC 676 showed potential to develop a future cultivar tolerant to the heat stress at anthesis, presenting lower spikelet sterility values at the temperatures of 36 and 38°C and not decreasing its 1,000 grain dry mass even when submitted to the temperatures of 40 and 42°C. In the third experiment, the inbreeds SC 817 and SC 806 were the genotypes that presented the lowest percentage of spikelet sterility and the highest grain production per plant in the treatments with heat stress, showing potential to generate future cultivars with greater tolerance to high temperatures at anthesis. In the field experiment, the higher temperatures registered during flowering and grain filling in the first growing seasons (2016/17), reduced grain yield, 1,000 grain mass, milling yield and the percentage of intact grains, in comparison to the growing season of 2017/18. They also contribute to increase spikelet sterility, the percentage of broken and chalky grains. The inbred SC 676 presented the highest productivity (13,070 kg ha⁻¹) and the worst grain quality. Collectively, this work showed that temperatures above the range of 34 and 38°C at anthesis

hamper the rice crop, increasing spikelet sterility and decreasing grain production. The damages are more pronounced with the increment in the period of exposition to the heat stress. There are differences among genotypes on the tolerance to high temperatures at anthesis. Such differences can be explored by the breeding programs in order to develop future cultivars more tolerant to this kind of abiotic stress.

Keywords: *Oryza sativa*. Flowering. Heat. Sterility. Productivity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	25
2.2	CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE ARROZ.....	27
2.2.1	Desenvolvimento de plântula.....	27
2.2.2	Desenvolvimento vegetativo.....	28
2.2.3	Desenvolvimento reprodutivo.....	30
2.2.4	Exigências climáticas e tolerância a altas temperaturas.....	31
3	EXPERIMENTO 1: ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS DURANTE SETE DIAS NA ANTESE EM GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO.....	39
3.1	RESUMO.....	39
3.2	ABSTRACT.....	39
3.3	INTRODUÇÃO.....	40
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
3.5.1	Esterilidade de espiguetas.....	48
3.5.2	Produção de grãos.....	50
3.5.3	Massa de 1.000 grãos.....	53
3.6	CONCLUSÕES.....	56
4	EXPERIMENTO 2: ESTRESSE POR ALTAS TEMPERATURAS DURANTE QUATRO DIAS NA ANTESE EM GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO.....	57
4.1	RESUMO.....	57
4.2	ABSTRACT.....	57
4.3	INTRODUÇÃO.....	58
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.5.1	Esterilidade de espiguetas.....	61
4.5.2	Produção de grãos.....	65
4.5.3	Massa de 1.000 grãos.....	67

4.6	CONCLUSÕES.....	69
5	EXPERIMENTO 3: TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO À OCORRÊNCIA DE TEMPERATURA DE 38°C POR QUATRO DIAS NA ANTESE.....	71
5.1	RESUMO.....	71
5.2	ABSTRACT.....	71
5.3	INTRODUÇÃO.....	72
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	73
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
5.5.1	Esterilidade de espiguetas.....	75
5.5.2	Produção de grãos.....	78
5.5.3	Massa de 1.000 grãos.....	79
5.6	CONCLUSÕES.....	83
6	EXPERIMENTO 4: DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO EM SAFRAS COM REGIMES TÉRMICOS DISTINTOS.....	85
6.1	RESUMO.....	85
6.2	ABSTRACT.....	85
6.3	INTRODUÇÃO.....	86
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	87
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
6.5.1	Temperatura atmosférica.....	90
6.5.2	Esterilidade de espiguetas.....	90
6.5.3	Produtividade.....	91
6.5.4	Massa de 1.000 grãos.....	93
6.5.5	Grãos gessados e área gessada dos grãos.....	94
6.5.6	Rendimento de engenho, grãos inteiros e grãos quebrados.....	96
6.6	CONCLUSÕES.....	98
7	CONCLUSÕES GERAIS.....	99
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105
	APÊNDICES.....	113

REFERÊNCIAS

ADAMSKI, J. M. et al. Alteration of photosynthetic and oxidative metabolism under low temperature stress in two *indica* rice genotypes contrasting in cold tolerance. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. v. 1. p. 237-240.

ALI, F. et al. Heat stress during grain fill reduces head rice yield through genotype dependant increased husk biomass and grain breakage. **Journal of Cereal Science**, London, v. 90, p. 1-7, 2019.

ARAÚJO, J. L. S.; MARGIS-PINHEIRO, M.; RUMJANEK, N. G. **Proteínas de choque térmico e tolerância a altas temperaturas**: Documentos número 80. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27p.

BALIUAG, N. N. A. et al. Genetic analysis for heat tolerance and early morning flowering traits at flowering stage in rice (*Oryza sativa* L.). **Philippine Journal of Crop Science**, Philippines, v. 40, n. 3, p. 62-72, 2015.

BECKLES, D. M.; THITISAKSAKUL, M. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. **Starch Journal**, Weinheim, v. 65, p. 1-14, 2013.

BELTRÃO, N. E. M. et al. Trocas gasosas e características fisiológicas em plantas de algodoeiro sob diferentes temperaturas. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 8., 2011, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011. p. 1234-1241.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DILLENBURG, L. R. Diferença de temperatura dossel-ar como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 5-11, 1999.

BRADSHAW, J. E. Plant breeding: past, presente and future. **Euphytica**, Wageningen, v. 213, n. 60, p. 1-12, 2017.

BURTON, W. G. Challenges for stress physiology in potato. **American Potato Journal**, Switzerland, v. 58, p. 3-14, 1981.

CABREIRA, C.; CRUZ, R. P. Herança da tolerância ao frio na fase vegetativa em arroz. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, Canoas, p. 31-36, 2009.

CHEN, J. et al. Impacts of prolonged high temperature on heavy-panicle rice varieties in the field. **Chilean Journal of Agricultural Research**. Chile, v. 77, n. 2, p. 102-109, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB. v. 4. n. 12. p. 60-67, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB. v. 6. n. 2. p. 52-60, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: CONAB. v. 6. n. 8. p. 37-45, 2019.

CORREIA, S. L. **Respostas fisiológicas e moleculares de duas cultivares de arroz irrigado à altas temperaturas**. 2018. 114 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 4, p. 436-443, 2000.

COUNCE, P. A. et al. Rice milling quality, grain dimensions, and starch branching as affected by high night temperatures. **Cereal Chemistry**, United States of America, v. 82, n. 6, p. 645-648, 2005.

CRUZ, R. P. **Exigências climáticas para a cultura do arroz irrigado**. Cachoeirinha: IRGA, 2010. 38 p.

CRUZ, R. P.; MILACH, S. C. K.; FEDERIZZI, L. C. Rice cold tolerance at the reproductive stage in a controlled environment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 255-261, 2006.

CUADRA, S. V. et al. Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 19., 2015, Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG, 2015. p. 377-386.

DAS, S. et al. High temperature stress effects on pollens of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 101, p. 36-46, 2014.

DAMETTO, A. **Identificação e caracterização de genes de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. Indica) importantes para tolerância ao frio na fase de germinação**. 2014. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2014.

EBERHARDT, D. S. Altas temperaturas afetam produtividade e qualidade do arroz irrigado no estado. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 12, 2010.

EBERHARDT, D. S.; SCHIOCCHET, M. A. (Org). **Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (sistema pré-germinado)**. Florianópolis, SC: Epagri, 2015. 92 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 232 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Série Culturas: Arroz**. Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo. Pelotas: Embrapa, 2002. 67 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. **Importância Econômica, Agrícola e Alimentar do Arroz**. Sistemas de Produção, 3. ISSN 1806-9207, Versão Eletrônica, Nov./2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. **Condições climáticas para o cultivo de arroz no Brasil**. Sistemas de Produção, 3. ISSN 1806-9207, Versão Eletrônica, Jun./2016.

EPAGRI/CEPA. **Boletim Agropecuário: Documentos nº 299**. Florianópolis, SC: Epagri/CEPA, 2019. 47 p.

FAGUNDES, P. R. R. (Ed). **Arroz Irrigado: resultados de pesquisa do melhoramento genético para tolerância à estresses abióticos**, na Embrapa Clima Temperado, 2007/2008. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 57 p.

FAGUNDES, J. D. et al. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 351-360, 2010.

FONSECA, G. M. et al. Avaliação de linhagens recombinantes endogâmicas para tolerância ao frio no estágio vegetativo. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. v. 1. p. 221-223.

GARCIA, N. S. et al. Identificação de genótipos de arroz irrigado tolerantes ao frio no estágio de germinação – emergência. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. v. 1. p. 157-160.

GRETER, F. F.; NUNES, A. S.; CASAGRANDE, R. R. Diferença entre temperatura foliar e temperatura do ar como indicador de déficit hídrico em diferentes híbridos de milho. In: Seminário Nacional Milho Safrinha, 14., 2017, Cuiabá, MT, **Anais...** Cuiabá, MT, 2017. p. 152-157.

HAVERKORT A.J.; HARRIS P. M. A model for potato growth and yield under tropical highland conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Netherlands, n. 39, p. 271-282, 1987.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. Brasília, DF, 2019. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 02 jan. 2019.

ISHIMARU, T. et al. High temperature and low solar radiation during ripening differentially affect the composition of milky-white grains in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, London, v. 21, n. 4, p. 370-379, 2018.

ISHIMARU, T. et al. Formation of grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science**, London, v. 50, n. 2, p. 166-174, 2009.

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**, Oxford, v. 58, n. 7, p. 1627-1635, 2007.

JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. Phenotyping parents of mapping populations of rice for heat tolerance during anthesis. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 1140-1146, 2008.

JAGADISH, S. V. K. et al. Physiological and proteomic approaches to address heat tolerance during anthesis in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 1, p. 143-156, 2010.

JUAREZ, J. M. et al. Diferenças entre a temperatura foliar do morango e a do ar em função do manejo da irrigação. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 15., 2015, São Cristóvão, SE. **Anais...** São Cristóvão, SE: UFS, 2015. p. 850-855.

LAGO, I. et al. Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1441-1448, 2008.

LIU, Q. H. et al. Effects of elevated air temperature on physiological characteristics of flag leaves and grain yield in rice. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chile, v. 73, n. 2, p. 85-90, 2013.

LONDERO, G. P. et al. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 587-601, 2015.

LUZ, V. K. et al. Caracterização de famílias mutantes de arroz irrigado a baixa temperatura no estágio de germinação. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7., 2011, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí, SC: Epagri, 2011. v. 1. p. 109-112.

LYMAN, N. B. et al. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperatures stress. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 8, p. 1-9, 2013.

MARSCHALEK, R. et al. Seleção de genótipos de arroz irrigado adaptados à região de elevada altitude, sujeita a baixas temperaturas. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013. Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: UFSM/SOSBAI, 2013. v. 1. p. 181-184.

MARSCHALEK, R. et al. Avaliação de genótipos de arroz irrigado em região de elevada altitude, sujeitos a baixas temperaturas 2013/14 - 2014/15. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 9., 2015. Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas, RS: SOSBAI, 2015. p. 116-119.

MARSCHALEK, R. et al. SCS121 CL e SCS122 Miura: riscos e oportunidades na adoção de culturas de arroz irrigado em Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 38-41, 2017a.

MARSCHALEK, R. et al. Avaliação da produtividade de cultivares e linhagens de arroz irrigado em região de altitude, sujeita à baixas temperaturas, 2015/16 - 2016/17. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 10., 2017b. Gramado, RS. **Anais eletrônicos...** Gramado, 2017.

MARSCHALEK, R. et al. Image – Rice Grain Scanner: a three-dimensional fully automated assessment of grain size and quality traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 17, p. 89-97, 2017c.

MARSCHALEK, R. et al. Produtividade de cultivares e linhagens de arroz irrigado em região de altitude, sujeita a baixas temperaturas, safras 2017/18 e 2018/19. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 11., 2019. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú: SOSBAI, 2019. p. 129-132.

MEUS, L. D. et al. Altas temperaturas e esterilidade de grãos em arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 10., 2017, Gramado, RS. **Anais eletrônicos...** Gramado, 2017.

NEVES, P. C. F. **Melhoramento Genético do Arroz**: Exploração da Heterose no Desenvolvimento de Cultivares. Piracicaba: USP, 2010. p. 16-21.

NGUYEN, D. N. et al. Modeling and validation of high-temperature induced spikelet sterility in rice. **Field Crops Research**, Netherlands, v. 156, p. 293-302, 2014.

PACHECOY, M. I. **Tolerancia a frío en estadios tempranos del desarrollo en arroz: caracterización fenotípica de germoplasma de origen diverso y variación alélica en genes candidatos**. 2011. 73 p. Tese (Doutorado) - Universidad Nacional de Mar Del Plata, Balcarce, Argentina, 2011.

PACHECOY, M. I.; MARÍN, A. R.; PONTAROLI, A. C. Tolerancia a frío en estadios tempranos del desarrollo en arroz: caracterización fenotípica de germoplasma de origen diverso y variación alélica en genes candidatos. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7., 2011, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí, SC: Epagri, 2011. v. 1. p. 77-80.

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**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 96-100, 1995.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Multiciência**, Campinas: São Paulo, p. 139-162, 2007.

PINHEIRO, B. S.; HEINEMANN, A. B. **Características Morfológicas**. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo07qw4xeclygdut.html>> Acesso em: 02 jun. 2018.

PRASAD, P. V. V.; BHEEMANAHALLI, R.; JAGADISH, S. V. K. Field crops and the fear of heat stress – Opportunities, challenges and future directions. **Field Crops Research**, Netherlands, v. 200, p. 114-121, 2017.

REINOSO, A. D. S.; VARÓN, G. G.; DÍAZ, H. R. Biochemical and physiological characterization of three rice cultivars under different daytime temperature conditions. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chile, v. 74, n. 4, p. 373-379, 2014.

RIBEIRO, G. et al. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 18, n. 2-4, p. 133-142, 2012.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudança climática. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7., 2011, Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí, SC: Epagri, 2011a. v. 2. p. 95-98.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A. Duração do ciclo de desenvolvimento de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7., 2011, Balneário Camburiú, SC. **Anais...** Itajaí, SC: Epagri, 2011b. v. 2. p. 111-114.

ROSSO, A. F. **Caracterização genética e fenotípica para a tolerância ao frio e características agronômicas de arroz irrigado**. 2006. 98 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SANTOS, A. B.; SANTIAGO, C. M (Edit). **Informações técnicas para a Cultura do Arroz Irrigado nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. 150 p. 2014.

SHRIVASTAVA, P. et al. Effect of high temperature at different growth stages on rice yield and grain quality traits. **Journal of Rice Research**, United States of America, v. 5, n. 1-2, p. 29-42, 2012.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Pelotas, RS: SOSBAI. 200 p. 2016.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Cachoeirinha, RS: SOSBAI. 205 p. 2018.

SOUZA, N. M. **Tolerância a baixas temperaturas na fase de microsporogênese em genótipos de arroz irrigado**. 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2015.

SOUZA, N. M. et al. Spikelet sterility in rice genotypes affected by temperature at microsporogenesis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 12, p. 817-821, 2017.

SREENIVASULU, N. et al. Designing climate-resilient rice with ideal grain quality suited for high-temperature stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 7, p. 1737-1748, 2015.

STEINMETZ, S.; BRAGA, H. J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 429-438, 2001.

STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Leaf development of cultivated rice and weedy red rice under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 190-199, 2013.

STÜRMER, F. W. et al. Esterilidade de espiguetas e produção de grãos de genótipos de arroz irrigado submetidos a baixas temperaturas na microsporogênese. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 32, n. 2, p. 57-61, 2019.

UHLMANN, L. O. et al. Tendência secular de temperaturas mínimas e máximas causadores de esterilidade de espiguetas nas flores de arroz em Santa Maria, RS, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Pallotti, 2013. v. 2. p. 830-833.

VAN OORT, P. A. J. et al. A simple model for simulating heat induced sterility in rice as a function of flowering time and transpirational cooling. **Field Crops Research**, Netherlands, v. 156, p. 303-312, 2014.

VARÓN, G. G.; DÍAZ, H. R. Growth and yield of rice cultivars sowed on different dates under tropical conditions. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 42, n. 2, p. 217-226, 2015.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudança climática. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17. 2011, Guarapari, ES. **Anais eletrônicos...** Guarapari, 2011. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/8126969-Rendimento-de-graos-de-arroz-irrigado-em-cenarios-de-mudanca-climatica-1.html>> Acesso em: 02 Jan. 2019.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1237-1245, 2010.

WALTER, L. C. et al. Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 915-924, 2014.

WALTER, L. C. et al. Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2411-2418, 2010.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 279 p.

ZHAO, X.; FITZGERALD, M. Climate change: implications for the yield of edible rice. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 6, p. 1-9, 2013.

ZHOU, L. et al. Fine mapping of the grain chalkiness QTL qPGWC-7 in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 118, n. 3, p. 581-590, 2009.