



Análise de desempenho de um modelo fenológico para a cultura do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

Performance analysis of a phenological model for irrigated rice crop in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, 2018.

Lucas Fernando Carvalho da Conceição
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
luucascarvalho93@gmail.com

Luciana Barros Pinto
Universidade Federal de Pelotas
luciana.pinto@ufpel.edu.br

Santiago Vianna Cuadra
Embrapa Informática Agropecuária
santiago.cuadra@embrapa.br

Resumo

O arroz tem o segundo maior volume de produção em grãos do mundo, sendo o Brasil, o nono maior produtor. O Estado do Rio Grande do Sul, é responsável por aproximadamente 70% de toda a produção nacional de arroz, fato que apresenta grande relevância socioeconômica para o Estado e para o país, uma vez que a agricultura está diretamente ligada a economia. Diversas variáveis meteorológicas exercem influência direta no desenvolvimento da cultura no Estado, como radiação solar, precipitação pluvial e principalmente temperatura. Portanto, o conhecimento de como a cultura responde as diferentes variações meteorológicas no desenvolvimento fenológico é de extrema importância e tem a modelagem como aliada. O objetivo deste trabalho foi avaliar um software computacional que auxilia a determinação das temperaturas cardinais do modelo fenológico utilizado pelo modelo ORYZA2000, auxiliando a calibração dos coeficientes para caracterização das cultivares de arroz irrigado. Pode-se constatar, através dos resultados, que as cultivares analisadas apresentam valores de temperaturas cardinais similares ao longo dos estádios de desenvolvimento abordados e que por vezes subestimam e superestimam as faixas de temperaturas propostas pela literatura. Concluiu-se, que o programa desenvolvido foi capaz de simular corretamente os processos fenológicos existentes na cultura do arroz irrigado e precisar as temperaturas cardinais ideais para duas diferentes cultivares de arroz irrigado, comumente utilizadas na lavoura gaúcha.

Palavras-chave: arroz irrigado, temperaturas cardinais, modelagem agrometeorologia

Abstract

Rice has the second largest volume of grain production in the world, Brazil being the ninth largest producer. The State of Rio Grande do Sul is responsible for approximately 70% of all

national rice production, a fact that has great socioeconomic relevance for the State and for the country, since agriculture is directly linked to the economy. Several meteorological variables have a direct influence on the development of the crop in the State, such as solar radiation, rainfall and mainly temperature. Therefore, the knowledge of how the culture responds to different meteorological variations in phenological development is of extreme importance and has modeling to help. The objective of this work was to evaluate a computational software that helps to determine the cardinal temperatures of the phenological model used by the ORYZA2000 model, helping to calibrate the coefficients for the characterization of irrigated rice cultivars. It can be verified, through the results, that the cultivars analyzed present values of similar cardinal temperatures throughout the development stages addressed and that sometimes underestimate and overestimate the temperature ranges proposed in the literature. It was concluded that the developed program was able to correctly simulate the existing phenological processes in the irrigated rice crop and to specify the ideal cardinal temperatures for two different irrigated rice cultivars commonly used in the Rio Grande do Sul farming.

Keywords: irrigated rice, cardinal temperatures, agrometeorology modeling

Resumen

El arroz tiene el segundo mayor volumen de producción de granos en el mundo, Brasil es el noveno productor. El estado de Rio Grande do Sul es responsable de aproximadamente el 70% de toda la producción nacional de arroz, un hecho que tiene una gran relevancia socioeconómica para el estado y para el país, ya que la agricultura está directamente vinculada a la economía. Varias variables meteorológicas tienen una influencia directa en el desarrollo del cultivo en el estado, como la radiación solar, la lluvia y principalmente la temperatura. Por lo tanto, el conocimiento de cómo la cultura responde a diferentes variaciones meteorológicas en el desarrollo fenológico es de suma importancia y tiene modelos para ayudar. El objetivo de este trabajo fue evaluar un software computacional que ayude a determinar las temperaturas cardinales del modelo fenológico utilizado por el modelo ORYZA2000, ayudando a calibrar los coeficientes para la caracterización de los cultivares de arroz irrigados. A través de los resultados, se puede verificar que los cultivares analizados presentan valores de temperaturas cardinales similares a lo largo de las etapas de desarrollo abordadas y que a veces subestiman y sobrestiman los rangos de temperatura propuestos en la literatura. Se concluyó que el programa desarrollado pudo simular correctamente los procesos fenológicos existentes en el cultivo de arroz de regadío y especificar las temperaturas cardinales ideales para dos cultivares de arroz de regadío diferentes comúnmente utilizados en la agricultura de Rio Grande do Sul.

Palabras clave: arroz irrigado, temperaturas cardinales, modelación agrometeorológica

Introdução

O arroz (*Oryza sativa L.*), denominado poaceae aquática de cultivo anual (YOSHIDA, 1981), é um dos alimentos de maior importância para a nutrição humana, sendo a base alimentar de aproximadamente três bilhões de pessoas e, representa 29% do total de grãos utilizados na alimentação (SOSBAI, 2016). Além disso, a nível mundial, tem o segundo maior volume de produção em grãos, ocupando uma área de aproximadamente 168 milhões de hectares e produção de 741 milhões de toneladas de grãos (SOSBAI, 2016).

O continente asiático ocupa a primeira posição em produção e consumo, seguido da América do Sul, segunda em produção e terceira em consumo. A nível nacional, o Brasil, nono

maior produtor mundial, corresponde a uma produção de 11 a 13 milhões de toneladas do grão, sob os modos de cultivo irrigado e sequeiro (CONAB, 2015; SOSBAI, 2016). Atualmente o Rio Grande do Sul é responsável por aproximadamente 70% de toda produção do grão no Brasil (CONAB, 2015; SOSBAI 2016).

Diversos fatores são determinantes para o desenvolvimento da cultura do arroz no RS, como características de solo e meteorológicas, sendo radiação solar, precipitação e temperaturas os predominantes (STEINMETZ et al., 2004; CASTRO et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017). Uma das principais relações que evidenciam a importância da temperatura no desenvolvimento do arroz irrigado é o conceito de graus-dia, sendo ele, um indicador de desenvolvimento da planta que possibilita estimar os estádios de desenvolvimento da cultura (GILMORE, 1958; OMETTO, 1981; STEINMETZ et al., 2004).

O conhecimento de quais os processos físicos e químicos estão envolvidos nos estádios de desenvolvimento das culturas agrícolas e como eles ocorrem, tem extrema importância socioeconômica, uma vez que a agricultura está diretamente ligada a economia do país. Sendo assim, é crescente a frequência do uso de modelos computacionais de simulação de crescimento e produtividade agrícola, no intuito de melhorar o entendimento sobre o desenvolvimento e crescimento das plantas, assim como fornecer melhorias também na produção, tomada de decisões e avaliações dos impactos das oscilações climáticas nas culturas (AMIEN et al., 1999; BASAK, 2012; CUADRA et al., 2015; HEINEMANN et al., 2015).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar um software computacional que auxilia a determinação das temperaturas cardinais do modelo fenológico utilizado pelo modelo ORYZA2000, auxiliando a calibração dos coeficientes para caracterização das cultivares.

Metodologia

Para realização do trabalho, foram utilizados dados meteorológicos das seguintes variáveis: irradiância ($\text{KJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$), temperatura mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$), e precipitação (mm) das estações meteorológicas automática e convencional da Embrapa Clima Temperado, localizada na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Pelotas-RS, referente ao período entre 1993 a 2016.

Foram utilizados também dados fenológicos referentes as datas de desenvolvimento das cultivares, obtidos através de experimentos de campo realizados na ETB e conduzidos pelo pesquisador da Embrapa Clima Temperado Dr. Silvio Steinmetz, das cultivares: BR/IRGA 410 e BRS Querência obtidos em campo experimental, no período de 2005 a 2008, condizentes as

datas dos principais estádios de desenvolvimento do arroz irrigado: (v6) - Colar formado na sexta folha do colmo principal, *R0 - Iniciação da panícula* (exceto para (r0) que foi estimado através de quatro dias anteriores ao R1, R4 – Antese, R9 - Maturidade completa dos grãos na panícula e C – Ciclo completo, que são os estádios representados no modelo ORYZA2000 (BOUMAN, 2001).

As parcelas em campo tiveram as dimensões de 5,0 m de comprimento e 1,58 m de largura, constando de 9 linhas espaçadas de 17,5 cm, com densidade de semeadura de 80 sementes aptas por metro linear, em uma área útil de cinco linhas de 4,0 m de comprimento. Para acompanhamento e avaliação, foram selecionadas e marcadas dez plantas (colmo principal) de cada cultivar, em uma repetição, e tiveram o desenvolvimento acompanhado durante todo o ciclo, caracterizando-se cada estágio de acordo com a escala proposta por Counce et al. (2000). Foram feitas entre duas e três leituras diárias em cada parcela, excetuando-se os fins de semana e feriados. Datas médias para cada estágio foram obtidas a partir das observações em dez plantas.

Através da implementação das equações de fenologia do modelo ORYZA2000 em um script na linguagem R, que para seu funcionamento necessita de dados meteorológicos, fenológicos e diferentes combinações de temperatura como dado de entrada, foi realizada a comparação entre o número de dias previsto e observado para cada um dos estádios selecionados através de calibrações considerando diversas combinações (aproximadamente 5000 diferentes combinações por cultivar) de valores para temperaturas cardinais, utilizando variações no seu passo para amenizar o custo computacional na realização da operação, (tabela 1)

Tabela 1. Faixas de temperaturas estabelecidas para avaliação das temperaturas cardinais para as quatro cultivares utilizadas no trabalho.

Temperatura	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Passo (°C)
Base inferior	2	22	2
Ótima	3	40	1
Base superior	27	49	2

Para avaliação dos resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística dos dados, através da avaliação do erro quadrático médio (RMSE) (%) em função do número de dias previsto pelo modelo e o número de dias observado em campo, onde os valores de RMSE (%) mais próximos a 0 representam o menor erro, com intuito de obter-se as faixas de temperaturas cardinais mais representativas, em um intervalo de 8°C, e compará-las com os resultados encontrados na literatura de referência (YOSHIDA., 1981).

Após a análise dos resultados considerando amplas faixas de temperaturas cardinais, foram estabelecidas novas faixas de temperaturas centralizadas nos melhores resultados (tabela

2), ou seja, menor RMSE (%). Novamente, o modelo foi testado considerando todas as combinações de temperaturas cardinais e de forma a se obter as temperaturas cardinais ideais, minimização do RMSE (%), para cada cultivar considerada em cada estágio analisado.

Resultados

Primeira Etapa de Avaliação Estatística dos Resultados

Nessa etapa do trabalho, foram analisadas as cultivares BR/IRGA 410 e BRS Querência nos estádios V6 (figura 2), R0 (figura 3), R4 (figura 4), R9 (figura 5) e C (figura 6). Com base nas cultivares anteriormente citadas, foi plotado a matriz de erro referente as 5000 diferentes combinações de temperaturas por cultivar, explicitando dessa forma o RMSE (%) entre o número de dias observado e previsto pelo modelo, considerando todas as combinações dos valores das temperaturas cardinais do modelo fenológico (tabela 1), como pode-se observar nas figuras 2, 3, 4, 5 e 6. A temperatura cardinal inferior foi representada pela cor azul, a temperatura ótima em verde e a temperatura cardinal superior em vermelho. Através dessa análise, foram selecionados intervalos de aproximadamente 8°C para os menores valores de RMSE (%), para as temperaturas cardinais como exposto na tabela 2.

Baseado na análise das faixas de temperaturas selecionadas em função do menor RMSE (%) entre o número de dias previsto pelo modelo e o observado em campo experimental, pode se perceber de maneira geral que os valores mais representativos estatisticamente e selecionados como intervalos de temperaturas para futuras análises, foram, em sua maioria, semelhantes aos valores encontrados na literatura (Yoshida, 1981), como exposto na tabela 3. No estádio vegetativo avaliado V6, observou-se que as cultivares apresentaram valores, em sua grande maioria, dentro dos limiares estabelecidos por Yoshida et al. (1981) principalmente para as temperaturas cardinais mínimas e máximas. Já para as temperaturas ótimas pode se destacar que a cultivar BRS Querência teve uma defasagem nos seus resultados quando comparada a BR/IRGA-410 e a literatura, apresentado valores de temperatura superiores. O primeiro estádio reprodutivo avaliado R0, foi marcado pela grande proximidade entre os valores obtidos na análise de desempenho do modelo ORYZA2000 e os valores da literatura utilizada nesse estudo comparativo, sendo, nesse estádio, a cultivar BRS Querência que teve seus valores de temperaturas cardinais mais similares aos valores propostos por Yoshida et al. (1981).

Para o terceiro R4 e quarto R9 estádios avaliados, foi caracterizado um padrão positivo de similaridade com as faixas de temperaturas cardinais da literatura, sendo levemente destoante apenas na avaliação das temperaturas cardinais ótimas, no estádio R9, em que as cultivares analisadas apresentaram seus menores RMSE (%) em faixas de temperaturas que superestimavam os propostos por Yoshida et al. (1981).

O ciclo completo para as quatro cultivares, apresentou valores que por vezes superestimavam ou subestimavam levemente a literatura de referência, porém, não afetaram a credibilidade dos resultados do modelo ORYZA2000, que majoritariamente caracterizaram fielmente os valores representativos das faixas de temperaturas cardinais mínimas, máxima e ótima.

Figura 1. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 2a), BRS Querência (figura 2b) no estágio de desenvolvimento V6, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior.

Figura 2. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 3a) e BRS Querência (figura 3b) no estágio de desenvolvimento R0, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior.

Figura 3. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares (a) BR/IRGA 410 e (b) BRS Querência no estágio de desenvolvimento R4, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior.

Figura 4. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares (a) BR/IRGA 410 e (b) BRS Querência no estágio de desenvolvimento R9, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior.

Figura 5. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 6a) e BRS Querência (figura 6b) em todo o ciclo C, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior.

Tabela 2. Comparativo entre as temperaturas cardinais dos diferentes estádios de desenvolvimentos analisados para as cultivares selecionadas, encontradas na literatura (Yoshida, 1981) e observadas através da análise dos resultados da simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000.

Estádio	Temperaturas cardinais (°C)		
	Mínima	Ótima	Máxima
V6			
<i>Yoshida et al. (1981)</i>	9-16	25-31	33
BR/IRGA 410	10-18	24-32	31-39
BRS Querência	10-18	19-33	31-39
R0			
<i>Yoshida et al. (1981)</i>	15	25-30	35
BR IRGA 410	6-16	20-28	27-37
BRS Querência	10-18	23-31	34-42
R4			
<i>Yoshida et al. (1981)</i>	22	30-33	35
BR IRGA 410	14-24	26-36	33-42
BRS Querência	12-24	24-36	35-42
R9			
<i>Yoshida et al. (1981)</i>	12-16	20-25	30
BR/IRGA 410	10-18	22-29	34-44
BRS Querência	12-20	25-32	33-42
C			
<i>Yoshida et al. (1981)</i>	10-20	20-35	30-45
BR IRGA 410	12-20	23-35	35-45
BRS Querência	12-20	23-28	35-45

Segunda Etapa de Avaliação Estatística dos Resultados – Determinação exata de temperaturas

Na segunda etapa de análise, baseado em avaliações estatísticas e nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11 representadas pelas faixas de temperaturas selecionadas em função do menor RMSE (%) entre o número de dias previsto pelo modelo fenológico do ORYZA2000 e o observado em campo experimental, realizada através de novas combinações das temperaturas cardinais, encontradas na tabela 2 e valores próximos a ela, constatou-se os valores das temperaturas cardinais necessárias, nos diferentes estádios analisados, para o valor central das cultivares selecionadas no trabalho (tabela 3).

Figura 6. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 7a) e BRS Querência (figura 7b) no estádio V6, onde a cor

azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior, juntamente com a média e o desvio padrão do RMSE (%) nas cores preto e cinza, juntamente com uma linha de tendência polinomial para cada temperatura cardinal.

Figura 7. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 8a) e BRS Querência (figura 8b) no estádio R0, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior, juntamente com a média e o desvio padrão do RMSE (%) nas cores preto e cinza, respectivamente.

Figura 8. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 9a) e BRS Querência (figura 9b), no estádio R4, onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior, juntamente com uma linha de tendência polinomial para cada temperatura cardinal.

Figura 9. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 10a) e BRS Querência (figura 10b) no estádio (r9), onde a cor azul representa a temperatura base inferior, a cor verde a temperatura ótima e a cor vermelha a temperatura base superior, juntamente com a média e o desvio padrão do RMSE (%) nas cores preto e cinza, respectivamente.

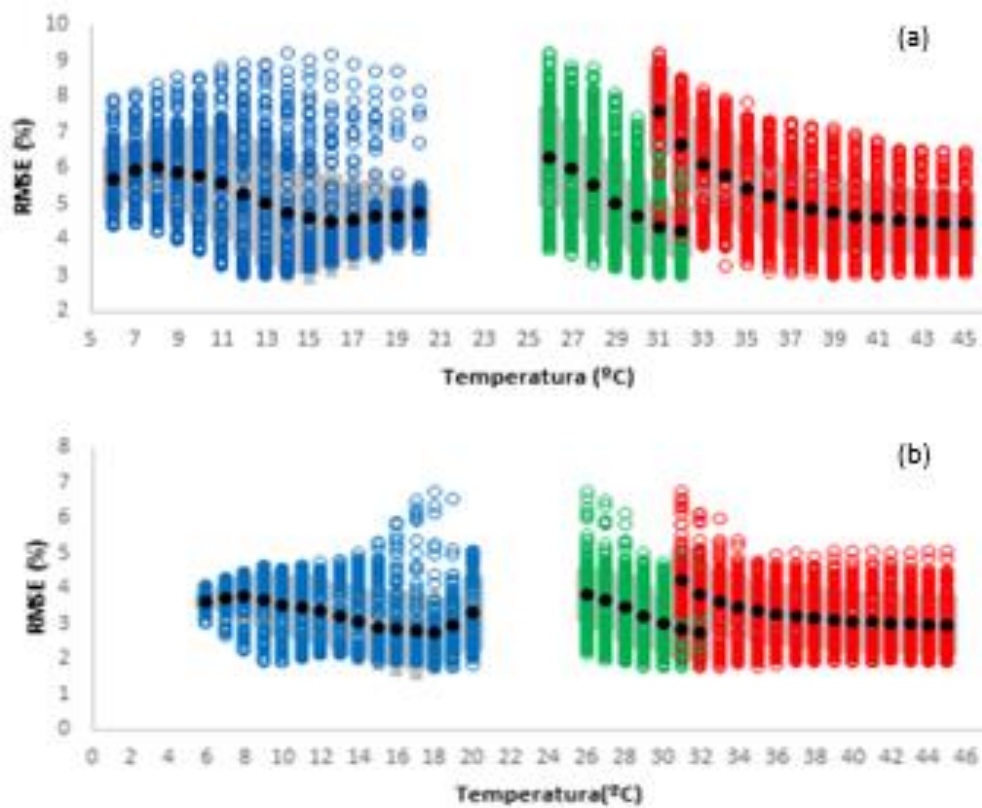


Figura 10. Simulação do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000 referente ao número de dias previsto e observado, com base nas temperaturas cardinais, das cultivares BR/IRGA 410 (figura 11a) e BRS Querência (figura 11b) no estágio C, onde a cor azul - temperatura base inferior, verde - temperatura ótima e vermelha - temperatura base superior, juntamente com a média e o desvio padrão do RMSE (%) nas cores preto e cinza, respectivamente.

Tabela 3. Temperaturas cardinais (°C) dos diferentes estádios de desenvolvimentos analisados, para as cultivares selecionadas observadas através da segunda avaliação de resultados do programa computacional desenvolvido com base nas equações fenológicas do modelo ORYZA2000.

Estádio	Temperaturas cardinais (°C)		
	Mínima	Ótima	Máxima
(v6)			
BR/IRGA 410	16	24	33
BRS Querência	13	21	30
(r0)			
BR/IRGA 410	8	19	31
BRS Querência	16	27	37
(r4)			
BR/IRGA 410	18	27	32
BRS Querência	18	27	33
(r9)			
BR/IRGA 410	15	23	32
BRS Querência	17	26	37
(c)			
BR/IRGA 410	20	31	39
BRS Querência	18	30	35

Discussão dos resultados encontrados com a literatura

Através da tabela 7, pode-se observar as temperaturas cardinais ideais selecionadas com base nos menores valores de RMSE (%), condizentes ao melhor desenvolvimento da cultura de arroz irrigado, ao longo de todo o ciclo fenológico, para as cultivares utilizadas na lavoura sul rio-grandense: BR/IRGA 410 (ciclo médio) e BRS Querência (ciclo precoce). Constatou-se que a cultivar BR/IRGA 410 apresentou temperatura cardinal 3°C acima da BRS Querência em todas as faixas avaliadas, evidenciando sua necessidade térmica mais elevada.

No estágio reprodutivo inicial avaliado (R0), a maior exigência térmica ficou por conta da cultivar BRS Querência. As temperaturas basais mínimas apresentaram variação dentro de um limiar de 8 °C entre as cultivares. Na análise posterior, referente a temperatura basal máxima, pode-se perceber valores variando em 6 °C entre as cultivares.

Através dos dados obtidos no estágio (r4), percebeu-se igualdade na temperatura basal mínima e ótima entre as variedades BR/IRGA 410 e BRS Querência, destoando apenas em apenas 1°C na temperatura basal máxima.

No estágio (r9), pode-se perceber uma amplitude térmica de 2 e 1°C, referente as temperaturas basais mínimas e ótimas, respectivamente. Para a temperatura basal máxima houve diferença de 4°C, sendo a BR/IRGA 410 a cultivar de maior exigência térmica.

A análise final para todo o ciclo, estágio (C), evidenciou os valores mínimos e máximos mais representativos (figura 11) estatisticamente em relação a todo período de estudo, para as temperaturas cardinais, referente a todas as cultivares de estudo. Como já era esperado, nesse estágio foram encontradas

as maiores faixas de temperaturas para todas as temperaturas cardinais avaliadas, devido ao período compreender a etapa com a maior duração dos processos fenológicos.

As temperaturas encontradas no presente trabalho apresentaram divergências em relação a análise comparativa com os resultados de temperaturas cardinais apresentadas, como ideais, por Yoshida et al. (1981), em todos os estádios de desenvolvimento. O comparativo dos valores encontrados para (v6) com a literatura em questão evidenciou que para as temperaturas cardinais mínimas, as cultivares ficaram dentro do limiar de 9-16°C proposto por Yoshida et al. (1981). Para as temperaturas cardinais ótimas, nenhuma das cultivares analisadas se enquadraram no valor base de literatura (25°C), com subestimação de ambas BRS Querência (21°C) e BR/IRGA 410 (24°C). A temperatura cardinal máxima propostas pela literatura (33°C) assemelhou-se ao resultado encontrado para a cultivar BR/IRGA 410 também com 33°C, já a BRS Querência subestimou a literatura (BRS Querência 30°C).

Na análise comparativa de (r0) para a temperatura mínima, Yoshida et al. (1981) propuseram 15°C, enquanto os valores encontrados nas simulações variaram entre 8°C (BR/IRGA 410) e 16°C (BRS Querência), evidenciando que nessa faixa de temperatura o programa variou a temperatura de acordo com as características específicas de cada cultivar. O padrão da faixa anteriormente analisada (maior concordância com a literatura da cultivar BRS Querência) se manteve para as temperaturas ótimas (literatura 25-30°C, BRS Querência 25°C e BR/IRGA 410 19°C).

Foi identificado para o estádio (r9), a maior superestimação dos valores encontrados baseados no programa computacional desenvolvido para todas as faixas de temperatura, quando comparado com a literatura de referência, exceto para a temperatura cardinal mínima (15°C) referente cultivar BR/IRGA 410 que se enquadrou no limiar de 12-15°C e para temperatura ótima (23°C) quando o limiar proposto por Yoshida et al. (1981) varia de 20-25°C. Para a BRS Querência (17°C), houve superestimação nos resultados encontrados.

Temperaturas cardinais mínimas inferiores ou entre 15°C e 19°C, encontradas nos estádios (v6), (r0), (r4), (r9) e (c) podem ser nocivas as plantas, através da indução de esterilidade. Porém, esse fato depende diretamente do genótipo e do estádio de desenvolvimento da cultivar (NISHIYAMA et al., 1969). A ocorrência de altas temperaturas, acima de 35°C como encontradas nos estádios V6 - BRS Querência (37°C), (r9) - BRS Querência (37°C), também podem afetar a produtividade da cultura (YOSHIDA, 1981). Os resultados expostos por Steinmetz et al. (2013), sugerem que temperaturas mínimas do ar variando de 14°C a 19°C ocorrendo do início da floração até a maturação dos grãos, como encontrados em (r4) - BR/IRGA 410 e BRS Querência (18°C), resultam nas melhores estimativas de produtividade.

As temperaturas cardinais utilizadas nesse trabalho, foram variáveis ao longo de todos os estádios, diferindo-se de metodologias utilizadas em outros modelos de arroz, que baseiam suas temperaturas em valores fixos (GAO et al., 1992; ELLIS et al., 1993; STRECK et al., 2007).

Conclusões

Pode-se concluir, com base nos resultados encontrados, que o programa computacional desenvolvido através das equações fenológicas do modelo ORYZA2000 é capaz de simular corretamente os processos fenológicos existentes na cultura do arroz irrigado e também é capaz de fornecer, por meio de análise estatística, as temperaturas cardinais ideais para quatro diferentes cultivares de arroz irrigado, comumente utilizadas na lavoura gaúcha.

Com a determinação correta dos valores de temperaturas cardinais expostas no trabalho, pressupõe-se eliminar ou diminuir acentuadamente, a superestimação/subestimação da duração dos estádios fenológicos do arroz, e dessa forma aprimorar a modelagem da cultura, permitindo estimativas mais precisas e realísticas de produtividade e diversos outros parâmetros existentes.

Uma vez sendo conhecido o perfil das cultivares quanto a temperatura, é possível determinar as regiões de melhor adaptação nas quais devem ser cultivadas visando seu melhor desenvolvimento.

Referências

AMIEN, I., REDJEKININGRUM P., KARTIWA B., ESTININGTYAS, W., Simulated rice yields as affected by interannual climate variability and possible climate change in Java. *Clim Res* 12:145–152, 1999.

BASAK, J. K. Impact of climate change on development phases of winter rice in Bangladesh. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES*, v.2, n.3, 2012.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; BERGE, H. F. M.; LAAR, H. H. Van. *ORYZAA2000: modelling lowland rice*. Manila: International Rice Research Institute, 235 p., 2001.

CASTRO, J. R. 2016. Determinação das incertezas nas simulações da produtividade do arroz irrigado associadas com as estimativas da radiação solar global. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. 67p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_24_11_44_50_perspectivas_agropecuaria_2015-16_produtos_verao.pdf. Acesso em: 09 mai. 2017.

CONCEIÇÃO, L. F. C.; PINTO, L. B.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R.; STEINMETZ, S.; Variáveis meteorológicas e crescimento do arroz irrigado. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, n.3, 2017.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHEL, A. J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. *Crop Science*, v. 40, p.443-446, 2000.

CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; HEINEMANN, A. B. CALIBRAÇÃO DO MODELO CERES-RICE PARA CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL. In: 9, Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2015, Pelotas - RS. Anais do IX Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Pelotas, 2015.

ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H. Rates of leaf appearance and panicle development in rice (*Oryza sativa* L.): a comparison at three temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.66, p.129-138, 1993.

GAO, L.; JUN, Z.; HUANG, L. Rice clock model – a computer model to simulate rice development. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 1-16, 1992.

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

HEINEMANN, A. B. et al. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. *Journal of Experimental Botany*, v. 11, p. 1 -14, 2015.

NISHIYAMA, I. Protecting effect of temperature and depth of irrigation water from sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage of rice plants (In Japanese). *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*, v.38, n.3, p.554-555, 1969.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. Agronômica Ceres, São Paulo, v.1, p.425, 1981.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. *Reunião Técnica do Arroz Irrigado*, Pelotas, 200p., 2016.

STEINMETZ, S.; Influência do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: GOMES, A.S; JÚNIOR, A.M.M. *Arroz irrigado no Sul do Brasil*, pp. 45-71, 2004.

STEINMETZ, S.; DEIBLER, A. N.; SILVA, J. B. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. *Ciência Rural*. Santa Maria, v.43, n.2, p.206-211, 2013.

STRECK, N. A.; MICHELON, S.; BOSCO, L. C.; LAGO, I.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; PAULA, G. M. de. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da escala de COUNCE para cultivares sul-brasileiras de arroz irrigado. *Bragantia*, v.66, p.357-364, 2007.

YOSHIDA, S. *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños: IRRI, p.269, 1981.