



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1159-1165>

## Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz

Hamilton T. Rosa<sup>1</sup>, Lidiane C. Walter<sup>1</sup>, Nereu A. Streck<sup>2</sup>, Cristiano De Carli<sup>3</sup>, Giovana G. Ribas<sup>2</sup> & Enio Marchesan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal Farroupilha. Santo Augusto, RS. E-mail: [hamilton.rosa@iffarroupilha.edu.br](mailto:hamilton.rosa@iffarroupilha.edu.br); [lidiane.walter@iffarroupilha.edu.br](mailto:lidiane.walter@iffarroupilha.edu.br) (Autor correspondente)

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia/Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. E-mail: [nstreck2@yahoo.com.br](mailto:nstreck2@yahoo.com.br); [giovana.ghisleni@hotmail.com](mailto:giovana.ghisleni@hotmail.com); [eniomarchesan@gmail.com](mailto:eniomarchesan@gmail.com)

<sup>3</sup> Departamento de Fitossanidade/Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. E-mail: [cristianodcarli@yahoo.com.br](mailto:cristianodcarli@yahoo.com.br)

### Palavras-chave:

*Oryza sativa*  
biomassa  
rendimento  
modelagem

### RESUMO

O modelo SimulArroz é baseado em processos para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de grãos na cultura do arroz. O objetivo neste trabalho foi avaliar o desempenho do modelo SimulArroz em simular a produção de biomassa da cultura do arroz na Depressão Central do Rio Grande do Sul e a produtividade de grãos em diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Para testar o desempenho do modelo SimulArroz em simular a biomassa foi conduzido um experimento de campo em Santa Maria, RS, com quatro cultivares (IRGA 421, BRS Querência, IRGA 424 e SCRBR S Tio Taka) com três datas de semeadura no ano agrícola 2011/2012 (17 de outubro, 18 de novembro e 19 de dezembro de 2011) e uma data de semeadura no ano agrícola 2012/2013 (19 de outubro de 2012). Dados da literatura foram usados para testar a capacidade de previsão da produtividade de grãos em várias regiões orizícolas. O modelo SimulArroz simula com precisão média superior a 70% a produção de biomassa de diferentes cultivares e datas de semeadura de arroz na região central do Rio Grande do Sul, tal como a produtividade de grãos e a variação da produtividade nas diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

### Key words:

*Oryza sativa*  
biomass  
yield  
modeling

## Simulation of rice growth and yield in Rio Grande do Sul with the SimulArroz

### ABSTRACT

The SimulArroz is a process-based model for simulating growth, development and yield of rice. The objective of this study was to evaluate the performance of the SimulArroz model in simulating biomass in the Central Depression of Rio Grande do Sul and grain yield in different regions that grow rice in the Rio Grande do Sul State. To test the performance of SimulArroz model in simulating biomass, an experiment was conducted at Santa Maria, RS, with four cultivars of rice (IRGA 421, BRS Querência, IRGA 424 and SCRBSR Tio Taka) with three sowing dates during the 2011/2012 growing season (October 17, November 18 and December 19, 2011) and one sowing date in the 2012/2013 growing season (October 19, 2012). Data from the literature were used to test the predictive ability of the model in simulating grain yield. The SimulArroz model simulates with an average accuracy better than 70% of the biomass production of rice cultivars and sowing dates of rice in the Central Depression of Rio Grande do Sul as well as grain yield and its variation across the different production regions of the Rio Grande do Sul.



## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de arroz (*Oryza sativa* L.) fora do continente asiático, sendo o Estado do Rio Grande do Sul (RS) responsável por aproximadamente 60% do arroz produzido internamente (IRGA, 2013). No RS são cultivados, anualmente, em torno de 1,1 milhões de hectares de arroz no sistema irrigado por inundação em seis regiões orizícolas (Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Zona Sul, Planície Costeira Interna e Planície Costeira Externa à Laguna dos Patos) as quais diferem em produtividade devido à disponibilidade de radiação solar e temperatura do ar durante a estação de crescimento da cultura (SOSBAI, 2012).

Modelos matemáticos estão sendo cada vez mais usados na agricultura. Tais modelos são simplificações da realidade que permitem a descrição das interações complexas que ocorrem em agroecossistemas (Streck & Alberto, 2006). Particularmente na área agrícola, para ser representativo e confiável, cada modelo matemático precisa ser adaptado e testado em diferentes ambientes. Após ter seu desempenho testado os modelos agrícolas são ferramentas que podem ser usadas, por exemplo, para prever o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura em função de variações das condições meteorológicas na cada safra (Shin et al., 2006; Shin et al., 2010; Streck et al., 2013a) e mesmo em cenários climáticos futuros (Streck et al., 2006; Streck et al., 2013b).

O modelo SimulArroz é um modelo de simulação, determinístico dinâmico, baseado em processos (process-based model) para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de grãos na cultura do arroz (Streck et al., 2013c). Desenvolvido com base nos modelos InfoCrop (Aggarwal et al., 2006), ORYZA (Bouman & Laar, 2006) e no modelo de aparecimento de folhas de Wang-Engel modificado (Streck et al., 2008c) o SimulArroz é um modelo calibrado para cultivares de arroz usadas no Rio Grande do Sul e assim atende às demandas como ferramenta computacional em nível regional. A capacidade preditiva de produtividade de grãos do SimulArroz foi avaliada por Walter et al. (2012) nas condições de cultivo de arroz irrigado por inundação no município de Santa Maria, situado na região orizícola da Depressão Central do RS, quando obtiveram bons resultados de predição, com erros médios na ordem de 850 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, o desempenho do SimulArroz em descrever variáveis do crescimento de arroz e a produtividade de grãos nas diversas regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul ainda não foi avaliado, o que constituiu motivação para este trabalho.

A hipótese neste trabalho é que o modelo SimulArroz, pelas suas bases ecofisiológicas, tem capacidade de simular com acurácia satisfatória a produção de biomassa da cultura e a produtividade de grãos nos ecossistemas orizícolas do Rio Grande do Sul. O objetivo neste trabalho foi avaliar o desempenho do modelo SimulArroz em simular a produção de biomassa da cultura do arroz na Depressão Central do Rio Grande do Sul e a produtividade de grãos em diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

O modelo de simulação do rendimento de grãos de arroz usado neste estudo foi o modelo SimulArroz© (Streck et

al., 2013c). O SimulArroz calcula a taxa de crescimento dos diferentes compartimentos da planta (raízes, caule, folhas e panículas) e de desenvolvimento (emissão de folhas e avanço na fenologia da cultura) no passo de tempo de um dia usando variáveis meteorológicas disponíveis em estações meteorológicas (temperatura mínima e máxima diária do ar e radiação solar).

O SimulArroz é composto por funções matemáticas do modelo InfoCrop descritas em Aggarwal et al. (2006) e por funções do modelo ORYZA 2000 (Bouman & Laar, 2006) dos quais se distingue por ter, em seu código, funções de fenologia adaptadas para cultivares de arroz usadas no Rio Grande do Sul (Streck et al., 2011; Walter et al., 2012) e por conter um submodelo de emissão de folhas que calcula o número de folhas acumuladas na haste principal pela Escala de Haun (Streck et al., 2008a). A descrição do desenvolvimento foliar pela Escala de Haun dá um caráter mecanístico à variável do desenvolvimento pois ela é uma escala numérica contínua, o que facilita sua modelagem numérica (Streck et al., 2013c).

No modelo SimulArroz o ciclo de desenvolvimento da cultura é dividido em quatro fases (Walter et al., 2012): fase de emergência (semeadura-emergência), fase vegetativa (emergência-diferenciação da panícula), fase reprodutiva (diferenciação da panícula-antese) e fase de enchimento de grãos (antese-maturidade fisiológica). Cada uma das fases é completada quando atingida a soma térmica calculada pela metodologia usada por Streck et al. (2011) e acumulada diariamente com base na temperatura mínima e máxima diária do ar e se considerando as três temperaturas cardinais do desenvolvimento da cultura, temperatura base inferior (Tb – Abaixo da qual a planta não se desenvolve), temperatura ótima (Tot – em que o desenvolvimento é máximo) e temperatura base superior (TB – Acima da qual a planta não se desenvolve) variando de acordo com a fase de desenvolvimento, ao longo do ciclo da cultura, sendo Tb = 11 °C, Tot = 30 °C e TB = 40 °C para a fase de emergência e para a fase vegetativa; Tb = 15 °C, Tot = 25 °C e TB = 35 °C para a fase reprodutiva; Tb = 15 °C, Tot = 23 °C e TB = 35 °C para a fase de enchimento de grãos (Walter et al., 2012).

O estágio de desenvolvimento (DVS) da cultura é calculado diariamente de modo que a fase de emergência compreende os estágios de -1 (semeadura) até 0 (emergência), a fase vegetativa se inicia no estágio 0 e termina no estágio 0,65 (diferenciação do primórdio floral), a fase reprodutiva se inicia no estágio 0,65 e termina no estágio 1 (antese) e a fase de enchimento de grãos corresponde ao período entre os estágios 1 e 2 (maturidade fisiológica). O DVS é calculado por:

$$DVS = \frac{STa}{STT} \quad (1)$$

em que:

STa - soma térmica diária acumulada (°C); e

STT - soma térmica diária total (°C) para completar a fase.

O código fonte foi escrito em Fortran e o aplicativo em Java da versão 1.0 do SimulArroz usada neste estudo, está disponível para download gratuito em [www.ufsm.br/](http://www.ufsm.br/)

simularroz. A opção 'produtividade potencial' foi escolhida uma vez que os experimentos usados neste trabalho e descritos a seguir, foram conduzidos em condições de manejo potencial, ou seja, aplicando-se todas as técnicas de manejo para obter a máxima produtividade.

Para testar o desempenho do modelo SimulArroz em simular a biomassa de folhas, colmos e panículas, foi conduzido um experimento de campo em Santa Maria, RS (29° 43' S, 53° 43' W e altitude de 95 m) nos anos agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, com quatro cultivares, IRGA 421 (muito precoce), BRS Querência (ciclo precoce), IRGA 424 (ciclo médio) e SCSBRS Tio Taka (ciclo tardio) e três datas de semeadura no ano agrícola 2011/12 (17 de outubro, 18 de novembro e 19 de dezembro de 2011) e uma data de semeadura no ano agrícola 2012/2013 (19 de outubro de 2012) com as mesmas cultivares. O delineamento experimental foi em blocos ao caso, com quatro repetições. Cada parcela tinha 1,53 x 5 m, com linhas de plantas distanciadas 17 cm e uma densidade de plantas de 200 plantas m<sup>-2</sup>. A adubação e as práticas de manejo, incluindo a irrigação por inundação a partir de V3, seguiram as indicações da cultura do arroz para o Rio Grande do Sul (SOSBAI, 2012).

Foram realizadas amostragens de massa fresca coletando-se plantas em 0,1 m<sup>2</sup> em cada parcela nos dois anos agrícolas. As plantas de arroz foram separadas em folhas, colmos, panículas e material senescente no ano agrícola 2011/12 e em folhas + colmos e panículas no ano agrícola 2012/13; após a separação o material foi colocado em sacos de papel identificados e, posteriormente, colocado para secagem em estufa a 60 °C até atingir massa constante.

Para testar a capacidade de predição da produtividade de arroz do modelo SimulArroz com dados independentes foi realizada uma busca bibliográfica de trabalhos científicos nos quais eram relatados valores de produtividade de grãos em experimentos conduzidos em diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul; apenas tratamentos sem deficiência ou estresse por fatores bióticos ou abióticos foram considerados na avaliação do desempenho do modelo; os detalhes de cada

um desses experimentos utilizados como dados independentes estão na Tabela 1.

Com exceção da região da Campanha, para a qual não foram encontrados dados de produtividade de cultivares descritas no SimulArroz ou não havia dados meteorológicos nos locais dos experimentos obteve-se, para todas as demais regiões orizícolas, o total de 91 dados de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) para teste do modelo. As datas de semeadura variaram de 1º de outubro até 11 de março em safras desde 1984/85 a 2009/10 e as cultivares testadas tinham ciclos de maturação variando desde o ciclo muito precoce (como, por exemplo, a cultivar IRGA 421) até o ciclo tardio (cultivar SCSBRS Tio Taka).

Os dados meteorológicos diários (temperatura mínima, máxima e radiação solar), necessários para rodar o SimulArroz em cada experimento da Tabela 1, foram obtidos de estações meteorológicas do INMET do município ou mais próximo a este.

O desempenho modelo SimulArroz foi avaliado pelas estatísticas: raiz do quadrado médio do erro (RQME – Eq. 2), RQME normalizado (RQME<sub>n</sub> – Eq. 3), índice "BIAS" (Eq. 4), coeficiente de correlação (r – Eq. 5), índice de concordância (dw – Eq. 6) e índice de confiança (c – Eq. 7).

O "RQME" expressa o erro médio do modelo (quanto menor o RQME melhor é o modelo) e foi calculado pela Eq. 2, como citado por Streck et al. (2008a,c):

$$RQME = \left[ \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (2)$$

em que:

- S<sub>i</sub> - valores simulados;
- O<sub>i</sub> - valores observados; e
- n - número de observações.

O RQME normalizado (RQME<sub>n</sub>) que indica o erro médio relativo, foi calculado pela Eq. 3:

Tabela 1. Dados independentes de produtividade de grãos de arroz usados na avaliação do modelo SimulArroz nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul: Depressão Central (DC), Fronteira Oeste (FO), Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos (PCI), Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos (PCE) e Zona Sul (ZS)

Data(s) de semeadura	Cultivar(es)	Regiões orizícolas	Condição experimental	Referências
12/10/2009, 23/10/2009, 05/11/2009	IRGA 424, EPAGRI 109	PCI	Lavoura comercial	Marcolin et al. (2011)
21/10/2009, 23/10/2009, 29/10/2009 e 12/11/2009	IRGA 409, IRGA 417, IRGA 424, IRGA 409 e IRGA 417	DC, FO, PCI, PCE e ZS	Experimento a campo	Rosso et al. (2011)
09/11/2009, 21/10/2009	IRGA 424, SCSBRS TioTaka, IRGA 424, IRGA 425, SCS 116 Saturu	DC e PCE	Experimento a campo	Kempf et al. (2011)
20/11/1984 a 20/11/1995	IRGA 416, IRGA 409 e BRS TAIM	DC	Experimento a campo	Marchezan et al., (1996)
11/10/2000, 24/11/2000 e 19/11/2002	BR IRGA 409, IRGA 417, IRGA 420, BRS TAIM	DC	Experimento a campo	Marchezan et al. (2004)
30/11/2002, 18/10/2003 e 23/10/2004	IRGA 420 e BRS TAIM	DC	Experimento a campo	Marchezan et al. (2007)
11/03/2005	IRGA 417	DC	Experimento a campo	Camargo et al. (2008)
20/10/2009 e 13/11/2009	IRGA 424	PCE	Experimento a campo	Freitas & Oliveira (2011)
17/11/2007 e 30/10/2008	BRS Querência	ZS	Experimento a campo	Scivittaro et al. (2011)
01/10/2004, 29/10/2004, 27/10/2005, 03/11/2005 e 05/11/2005	SCSBRS Tio Taka, IRGA 417, EPAGRI 108, 109, IRGA 409, 410, 418, 419, 420, 421	PCE, ZS	Experimento a campo	Lopes et al. (2007)

$$RQMEn = \frac{100 \times RQME}{Oim} \quad (3)$$

em que:

Oim - média dos valores observados.

O RQME foi usado para a variável produtividade de grãos, pois tem aplicação prática já que é um erro absoluto e assim mais apropriado para esta variável (Walter et al., 2012). O RQMEn foi usado para as variáveis de biomassa visando facilitar a comparação com dados de literatura em que esta estatística foi usada (Bouman & Laar, 2006).

O valor de "BIAS", utilizado por Samboranza et al. (2013) e por Souza et al. (2008), foi obtido pela fórmula:

$$BIAS = \frac{(\sum Si - \sum Oi)}{\sum Oi} \quad (4)$$

O índice "dw" foi calculado por (Borges & Mendiondo, 2007; Samboranza et al., 2013):

$$dw = 1 - \frac{\sum [(Si - Oi)^2]}{[\sum (|Si - Oim|) + (\sum |Oi - Oim|)]^2} \quad (5)$$

O valor de r foi calculado por Borges & Mendiondo (2007) e Samboranza et al. (2013):

$$r = \frac{\sum (Oi - Oim) \times (Si - Sm)}{\sqrt{[\sum (Oi - Oim)^2] \times \sum (Si - Sm)^2}} \quad (6)$$

em que:

Oim - média dos valores observados; e

Sm - média dos valores simulados.

O índice de confiança (c) indica o desempenho dos modelos e é calculado por (Borges & Mendiondo, 2007):

$$c = r \times dw \quad (7)$$

em que:

r - coeficiente de correlação e dw é o coeficiente de concordância.

Além das estatísticas acima também foram realizados a análise de variância (ANOVA) e o teste Tukey a 0,05, dentro de cada região considerando-se dois tratamentos (produtividade observada e simulada) e N repetições (dados coletados nos trabalhos em cada região orizícola).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores elevados de correlação (acima de 0,82) entre os valores de produção de biomassa observados e simulados foram verificados para todas as cultivares nos dois anos de cultivo (Tabela 2) significando que o SimulArroz consegue capturar

Tabela 2. Estatísticas do desempenho da simulação de biomassa seca de arroz (g m<sup>-2</sup>) com o modelo SimulArroz no ano agrícola 2011/2012 em Santa Maria, RS, em três datas de semeadura (17/11/2011, 18/11/2011, 19/12/2011) e quatro cultivares (IRGA 421, IRGA 417, BRS Querência e SCSBRS Tio Taka) e no ano agrícola 2012/2013

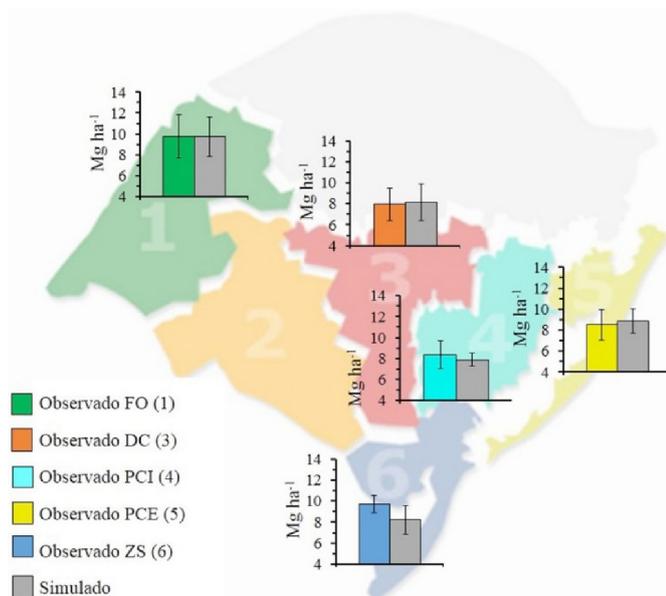
Compartmento	Estatística				
	RQMEn (%)	BIAS	dw	r	c
Ano agrícola 2011/12					
Parte aérea	34,7	-0,068	0,9987	0,9403	0,9390
Folhas	29,5	-0,106	0,9985	0,9381	0,9367
Colmos	35,3	-0,294	0,9968	0,9523	0,9492
Paniculas	29,5	-0,267	0,9990	0,8537	0,8508
Biomassa senescida	63,6	-0,308	0,9961	0,8253	0,8222
Ano agrícola 2012/13					
MS de colmos e folhas	16,64	-0,13	0,9946	0,9591	0,9539
Paniculas	22,77	-0,04	0,9899	0,9031	0,8939

RQMEn - Raiz do quadrado médio do erro normalizado; BIAS - Índice que mede o desvio médio dos valores estimados em relação aos valores observados; dw - Índice de concordância; r - Coeficiente de correlação; c - Índice de confiança

a variação de biomassa ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do arroz. O desvio médio dos valores estimados em relação aos valores observados (BIAS) é ligeiramente negativo e o índice de concordância é próximo da unidade (Tabela 2) o que indica que o modelo SimulArroz tem elevada capacidade preditiva da produção de biomassa da cultura do arroz.

Avaliando a predição de biomassa do modelo ORYZA 2000, Bouman & Laar (2006) encontraram erros médios relativos de 25, 31, 39 e 14% para biomassa total, folhas, colmos e panículas, respectivamente. Comparando mencionados valores com os encontrados neste trabalho (RQMEn, Tabela 2) os erros médios para folhas e colmos são semelhantes enquanto os erros encontrados pelos autores supracitados são mais baixos para biomassa total e panículas. Com base nesses resultados considera-se aceitáveis os erros de simulação de biomassa com o SimulArroz para este conjunto de dados.

A média da produtividade de grãos de arroz observada nos experimentos nas regiões orizícolas da Depressão Central, Fronteira Oeste, Planície Costeira Externa e Interna à Lagoa dos Patos e Zona Sul, foi de 7938, 9774, 8501, 8314 e 9759 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A média da produtividade de grãos simulada com o SimulArroz foi próxima da média observada nas diferentes regiões orizícolas e o desvio padrão observado também foi capturado pelo modelo (Figura 1). A região da Fronteira Oeste teve a maior produtividade observada (13.574 kg ha<sup>-1</sup>) com a cultivar IRGA 417 e também a maior diferença entre a mínima e a máxima produtividade (7.511 kg ha<sup>-1</sup>). Já a menor produtividade constatada, foi de 4.451 kg ha<sup>-1</sup> no município de Cachoeirinha, região da Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos, com a cultivar IRGA 421. O SimulArroz conseguiu simular satisfatoriamente a produtividade com erros próximos de 1000 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> para a maior e a menor produtividades acima citadas, respectivamente. A comparação da média de produtividade observada e simulada em cada região orizícolas (gráficos de barra na Figura 1) com o teste de Tukey a 0,05 indicou que não há diferença estatística. Estes resultados indicam que o modelo demonstrou ser bastante versátil, capturando a variação de ambiente entre as regiões orizícolas e a diferença de potencial produtivo das diferentes cultivares.



As barras de erro são um desvio padrão da média. Não há diferença estatística entre a produtividade observada e a produtividade simulada em cada região orizícola pelo teste de Tukey a 0,05

Figura 1. Produtividade (Mg ha<sup>-1</sup>) da cultura de arroz observada e simulada pelo modelo SimulArroz nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul durante vários anos agrícolas (safras de 1984/85 a 2009/10)

As estatísticas confirmam que o modelo SimulArroz conseguiu capturar as variações de produtividade existentes entre as regiões orizícolas do Estado (Tabela 3). O índice BIAS foi próximo de zero em todas as regiões. O índice de concordância foi superior a 0,98 nas regiões Fronteira Oeste, Depressão Central e Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos e nas regiões Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos e Zona Sul os valores do índice de concordância foram um pouco menores (Tabela 3) indicando que nessas regiões a predição do modelo foi um pouco inferior; mesmo assim, os valores do índice de concordância podem ser considerados satisfatórios de vez que as variações das produtividades de grãos observadas nas diferentes regiões foram capturadas pelo modelo. O coeficiente de correlação e o índice de confiança foram menores na Depressão Central e na Zona Sul, como mais um indicativo de que na Zona Sul o modelo teve menor precisão.

A RQME variou de 1.022 a 2.134 kg ha<sup>-1</sup> e na média do estado do RS foi 1.541 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3) enquanto o RQMEn foi, para esses valores, 12, 21,9 e 17,4%, respectivamente. Utilizando rendimentos publicados pelo IRGA (Instituto Rio-

Tabela 3. Estatísticas do desempenho da simulação da produtividade de grãos de arroz (kg ha<sup>-1</sup>) nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul com o modelo SimulArroz

Regiões orizícolas	Estatística				
	RQME (kg ha <sup>-1</sup> )	BIAS	dw	r	c
Depressão Central	1778	0,0273	0,9817	0,3734	0,3666
Fronteira Oeste	1422	-0,005	0,9874	0,7300	0,7208
PCI à Lagoa dos Patos	1165	0,0443	0,9910	0,6538	0,6479
PCE à Lagoa dos Patos	1022	-0,051	0,9336	0,6791	0,6340
Zona Sul	2134	-0,158	0,8411	0,5066	0,4252
Todas Regiões	1541	0,021	0,9960	0,5513	0,5491

RQME - Raiz do quadrado médio do erro; BIAS - Índice que mede o desvio médio dos valores estimados em relação aos valores observados; dw - Índice de concordância; r - Coeficiente de correlação; c - Índice de confiança; PCI - Planície Costeira Interna; PCE - Planície Costeira Externa

Grandense do Arroz) e resultados de experimentos realizados em Santa Maria (região da Depressão Central do Rio Grande do Sul), Walter et al. (2012) encontraram erros de 850 kg ha<sup>-1</sup> no teste da versão do modelo fato que deu origem ao SimulArroz.

Os erros encontrados para este conjunto de dados (Tabela 3) na região da Depressão Central foram um pouco maiores que os encontrados por Walter et al. (2012) passível de ser explicado pelo maior número de safras usadas no presente trabalho (safras de 1984/85 a 2006/07) e principalmente safras anteriores às avaliadas por Walter et al. (2012). Quanto mais antigos os dados de safra são esperados, maiores erros de simulação, em função de que o SimulArroz, foi calibrado com experimentos durante a década de 2000 (Streck et al., 2013b) em que a utilização de tecnologias de manejo (data de entrada da água, manejo de adubação e fitossanitário) era maior que nos anos 80 e 90.

Entre as outras regiões se destaca a Planície Costeira Interna e Externa em que o RQME foi o menor com RQMEn de 14 e 12%, respectivamente. Esses erros são, em todas as regiões, considerados aceitáveis, com base nas condições tão diversas de anos e cultivares dos dados independentes (Tabela 1). Considerando que há vários fatores que contribuem para os erros neste tipo de teste, desde as próprias simplificações, que são inerentes ao uso de modelos matemáticos até a distância entre a estação meteorológica e o local do experimento os diferentes locais em que foram conduzidos os experimentos, tendência tecnológica de evolução da produtividade, cultivares, manejo etc. pode-se inferir que o modelo conseguiu capturar a variação da produtividade.

Como observaram Lorençoni et al. (2010) e Swain et al. (2007) que testaram a produção de matéria seca em arroz com o modelo ORYZA e apesar de observarem bom desempenho do modelo, enfatizaram a necessidade constante de melhorias e ajustes do modelo matemático. É provável que o SimulArroz também necessita de atualizações, principalmente no que diz respeito à simulação do crescimento da cultura pois muitos fatores precisam ser considerados para definição desta variável que influencia diretamente a produtividade; entretanto, a atual versão do SimulArroz ([www.ufsm.br/simularroz](http://www.ufsm.br/simularroz)) pode ser usada como ferramenta computacional para se estudar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de arroz para todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

## CONCLUSÕES

1. O modelo SimulArroz apresenta desempenho satisfatório em simular a produção de biomassa de diferentes cultivares e datas de semeadura de arroz, na região central do Rio Grande do Sul.
2. O modelo SimulArroz também é capaz de simular a produtividade de grãos e sua variação nas diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul com precisão média superior a 70%.

## LITERATURA CITADA

Aggarwal, P. K.; Kalra, N.; Chander, S.; Pathak, H. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments, I. Model description. *Agricultural Systems*, v.89, p.1-25, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2005.08.001>

- Borges, A. C.; Mendiondo, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.11, p.293-300, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300008>
- Bouman, B. A. M.; Laar, H. H. van. Description and evaluation of rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural Systems*, v.87, p.249-273, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2004.09.011>
- Camargo, E. R.; Marchesan, E.; Avila, L. A. da; Silva, L. S. da; Rossato, T. L.; Massoni, P. F. Manutenção da área foliar e produtividade de arroz irrigado com a aplicação de fertilizantes foliares no estádio de emborrachamento. *Ciência Rural*, v.38, p.1439-1442, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000500038>
- Freitas, T. F. S.; Oliveira, J. V. Efeito do tratamento de sementes no desenvolvimento inicial e na produtividade de grãos de arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7, 2011. Balneário Camboriú, Anais...Itajaí: EPAGRI/SOSBAI, 2011. p.631-634.
- IRGA – Instituto Rio-Grandense do Arroz. Dados de safra: Série histórica da área plantada, produção e rendimento. [http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131024101611producao\\_rs\\_e\\_brasil.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131024101611producao_rs_e_brasil.pdf). 13 Mar. 2013.
- Kempf, D.; Lopes, S. I. G.; Lopes, M. C. B.; Rosso, A. de F.; Carmona, P. S.; Cremonese, J. L.; Freitas, P. R. S.; Ritzel, A.; Barroso, E.; Comoreto, R. C. de M. Rendimento de linhagens avançadas em semeadura pré-germinada, safra 2009/10. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7, 2011, Balneário Camboriú, Anais...Itajaí: EPAGRI/SOSBAI, 2011. p.224-227.
- Lopes, M. C. B.; Lopes, S. I. G.; Carmona, P. G.; Oliveira, C. L. E.; Trojan, S. C. da; Hernandez, G. Avaliação de genótipos, no ensaio de rendimento preliminar, do programa de melhoramento genético do instituto Rio-grandense do arroz, na safra 2005/06. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 5, 2007, 1, 2007. Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. p.195-197.
- Lorençoni, R.; Neto, D. D.; Heinemann, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p. 605-613, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000400013>
- Marchezan, E.; Aude, M. I. S.; Storck, L. Comportamento de genótipos de arroz irrigado em Santa Maria. *Ciência Rural*, v.26, p.147-148, 1996. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781996000100027>
- Marchezan, E.; Camargo, E. R.; Lopes, S. I. G.; Santos, F. dos M.; Michelon, S. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. *Ciência Rural*, v.34, p.1349-1354, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000500005>
- Marchezan, E.; Garcia, G.A.; Camargo, E.R.; Massoni, P.F.S.; Arosemena, D. R.; Oliveira, A. P. B. de B. Manejo da irrigação em cultivares de arroz no sistema pré-germinado. *Ciência Rural*, v.37, p.45-50, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000100008>
- Marcolin, E.; Jaeger, R. L.; Fonseca, E. L. Rendimentos de grãos e eficiência de uso de água em lavouras comerciais de arroz irrigado com manejo adequado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7, 2011. Balneário Camboriú, Anais...Itajaí: EPAGRI/SOSBAI, 2011. p.362-365.
- Rosso, A. F.; Scherer, R.; Wang, L.; Yuntian, W.; Carmona, P. S.; Leal, C. E. B.; Freitas, P. R. da S.; Ritzel, A.; Oliveira, I. C. de P.; Cremonese, J. L.; Trojan, S.; Chaves, A. da C.; Neves, G.; Jaeger, R. L.; Piazzetta, D. Avaliação de genótipos de arroz híbrido do programa de melhoramento genético da parceria Instituto Rio-Grandense do Arroz/Fazenda Ana Paula, na safra 2009/10. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7, 2011. Balneário Camboriú, Anais... Itajaí: EPAGRI/SOSBAI, 2011. p.54-57.
- Samboranza, F. K.; Streck, N. A.; Uhlmann, L. O.; Gabriel, L. F.; Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.815-824, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400019>
- Scivittaro, W. B.; Silva, P. da S.; Steinmetz, S.; Severo, A. C. M. Uso da água pelo arroz: efeito do período de supressão da irrigação. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 7, 2011. Balneário Camboriú, Anais...Itajaí: EPAGRI/SOSBAI, 2011. p.315-318.
- Shin, D. W.; Baigorria, G. A.; Lim, Y. K.; Cocke, S.; Larow, T. E.; O'brien, J. J.; Jones, J. W. Assessing maize and peanut yield simulations with various seasonal climate data in the Southeastern United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.49, p.592-603, 2010. <http://dx.doi.org/10.1175/2009JAMC2293.1>
- Shin, D. W.; Bellow, J. G.; Larow, T. E.; Cocke, S.; O'brien, J. J. The role of an advanced land model in seasonal dynamical downscaling for crop model application. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.45, p.686-701, 2006. <http://dx.doi.org/10.1175/JAM2366.1>
- Streck, N. A.; Alberto, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1351-1359, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000900002>
- Streck, N. A.; Bosco, L. C.; Lago, I. Simulating leaf appearance in rice. *Agronomy Journal*, v.100, p.490-501, 2008a. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0156>
- Streck, N. A.; Bosco, L. C.; Lucas, D. D. P.; Lago, I. Modelagem da emissão de folhas em arroz cultivado e em arroz-vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.559-567, 2008b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500002>
- Streck, N. A.; Charão, A. S.; Walter, L. C.; Rosa, H. T.; Benedetti, R. P.; Marchezan, E.; Silva, M. da R. SimulArroz: Um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8, 2013, Santa Maria. Anais... Santa Maria: SOSBAI, 2013a. p.1618-1627.
- Streck, N. A.; Lago, I.; Gabriel, L. F.; Samboranza, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.449-455, 2008c. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000400002>
- Streck, N. A.; Lago, I.; Oliveira, F. B.; Heldwein, A. B.; Avila, L. de A.; Bosco, L.C. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. *Transactions of the ASAE*, v.54, p.371-384, 2011. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.36234>
- Streck, N. A. Silva, M. R. da; Rosa, H. T.; Walter, L. C.; Benedetti, R. P.; Carli, C. de; Charão, A. S.; Marcolin, E.; Ferraz, S. E. T.; Marchesan, E. Acompanhamento da safra 2012/2013 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul por modelagem numérica. *Ciência e Natura*, p.368-372, 2013b.

- 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*, v.17, p.190-199, 2013c. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200010>
- SOSBAI - Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil, 29. Itajaí: SOSBAI, 2012. 177p.
- Souza, C. A. M.; Silva, G. da F.; Xavier, A. C.; Mendonça, A. de R.; Almeida, A. de Q. Avaliação de modelos de afileamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. *Ciência Florestal*, v.18, p.387-399, 2008.
- Swain, D. K.; Herath, S.; Bhaskar, B. C.; Krishnan, P.; Rao, K. S.; Nayak, S. K.; Dash, R. N. Developing ORYZA IN for medium- and long-duration rice: variety selection under non water stress Conditions. *Agronomy Journal*, v.99, p.428-440, 2007. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0204>
- Walter, L. C.; Rosa, H. T.; Streck, N. A.; Ferraz, S. E. T. Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. *Engenharia Agrícola*, v.32, p.510-521, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300010>