

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA,
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Anderson Haas Poersch

**CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE NOVAS CULTIVARES DE ARROZ
NO MODELO SIMULARROZ**

Santa Maria, RS

2021

Anderson Haas Poersch

**CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE NOVAS CULTIVARES DE ARROZ
NO MODELO SIMULARROZ**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS

2021

Poersch, Anderson
CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE NOVAS CULTIVARES DE ARROZ
NO MODELO SIMULARROZ / Anderson Poersch.- 2021.
55 p.; 30 cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Coorientador: Alencar Junior Zanon
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Arroz Irrigado 2. Escala de Haun 3. Novas
cultivares 4. Fenologia I. Augusto Streck, Nereu II.
Junior Zanon, Alencar III. Título.

Anderson Haas Poersch


**CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE NOVAS CULTIVARES DE ARROZ
NO MODELO SIMULARROZ**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola**.

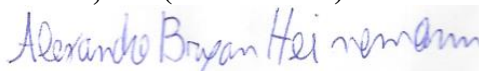
Aprovado em 27 de agosto de 2021:



Nereu Augusto Streck, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientador)



Silvio Steinmetz, Dr. (EMBRAPA) - Videoconferência



Alexandre Bryan Heinemann, Dr. (EMBRAPA) - Videoconferência

Santa Maria, RS.
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui, com saúde e com força para seguir o meu caminho.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e aprendizado ao longo do curso de mestrado.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio com a concessão de bolsa de estudo.

Ao orientador Nereu Augusto Streck que acreditou em meu potencial desde o início do curso de graduação, transmitindo conhecimento sem medir esforços.

Ao professor Alencar Junior Zanon, pela coorientação, pela amizade construída nos últimos anos e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus pais, Neri e Lúcia (in memoriam) e à minha madrastra Nair, pelo carinho, amor, força, e confiança em mim depositada.

Aos meus Irmãos Ademir e Nerison e suas companheiras Alice e Ana Beatriz, pelo amor, pela parceria e pelo incentivo.

À Embrapa Clima Temperado e à Embrapa Arroz e Feijão, em especial aos pesquisadores Dr. Silvio Steinmetz, Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior, Dr. Paulo Ricardo Reis Fagundes e Dr. Alexandre Bryan Heinemann e também ao Instituto Rio Grandense do Arroz e suas Equipes, pela concessão dos dados dos experimentos com arroz no Rio Grande do Sul e em Goiás. Sem estes dados, este trabalho não seria possível. Muito obrigado.

Aos colegas e amigos das Equipes FieldCrops e Simanihot da UFSM, que foram de alguma maneira importantes para a execução desse trabalho de Dissertação e a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

RESUMO

CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE NOVAS CULTIVARES DE ARROZ NO MODELO SIMULARROZ

AUTOR: Anderson Haas Poersch
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck

Com a crescente preocupação mundial em relação a falta de alimentos, a cultura do arroz deve ganhar ainda mais destaque nas próximas décadas. Esse cenário impacta diretamente em esforços que devem ser realizados nesse setor e o uso de tecnologias se torna mais relevante diante dessa realidade. Nessa linha de novas tecnologias tem-se o SimulArroz, um modelo matemático baseado em processos que simula o crescimento, desenvolvimento e produtividade para cultivares até então adaptadas para a região Sul do Brasil. Desse modo, o objetivo é calibrar e avaliar o modelo SimulArroz para duas novas cultivares de arroz. Foram realizados experimentos na estação regional de Pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz de Cachoeirinha/RS, e utilizados dados de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Clima Temperado) em Alegrete, Capão do Leão, Santa Vitória do Palmar e Uruguaiana no Rio Grande do Sul, além de experimentos na área experimental da EMBRAPA Arroz e Feijão em Goianira/GO, representando a região tropical do Brasil. Foram realizadas avaliações de Haun Stage (HS) para as cultivares BRS Pampa e BRS Catiana do início do desenvolvimento da cultura até a formação da folha bandeira e avaliações de fenologia conforme a escala de Counce et al. (2000). As coletas de plantas para a determinação de matéria seca foram realizadas em Cachoeirinha para a cultivar BRS Pampa e BRS Catiana e em Goianira para a cultivar BRS Catiana. O modelo foi calibrado e avaliado para simular de forma aceitável o número de folhas no colmo principal, a fenologia e acúmulo de matéria seca total da parte aérea de folhas, colmos e grãos e também para a produtividade de cultivares na região tropical do Brasil, possibilitando aplicar o modelo na região tropical de produção de arroz irrigado.

Palavras-chaves: *Oryza sativa* L; escala de Haun; novas cultivares; fenologia.

ABSTRACT

CALIBRATION AND EVALUATION OF NEW RICE CULTIVARS IN THE SIMULARROZ MODEL

AUTHOR: Anderson Haas Poersch

ADVISOR: Nereu Augusto Streck

With the growing global concern regarding the lack of food, the rice culture should gain even more prominence in the coming decades. This scenario directly impacts efforts that must be made in this sector and the use of technologies becomes more relevant to this reality. In this line of new technologies there is SimulArroz, a mathematical model based on processes that simulates the growth, development and productivity of cultivars until then adapted to the southern region of Brazil. Thus, the objective is to calibrate and evaluate the SimulArroz model for two new rice cultivars. Experiments were carried out at the Regional Research Station of the Instituto Rio Grandense do Arroz in Cachoeirinha / RS, and data from the Value of Cultivation and Use (VCU) tests of the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA Clima Temperado) in Alegrete, Capão do Leão were used, Santa Vitória do Palmar and Uruguaiana in Rio Grande do Sul, in addition to experiments in the experimental area of EMBRAPA Arroz e Feijão in Goianira / GO, representing the tropical region of Brazil. Haun Stage (HS) evaluations were carried out for the cultivars BRS Pampa and BRS Catiana from the beginning of the crop development until the formation of the flag leaf and phenology evaluations according to the scale of Counce et al. (2000). Plant collections for the determination of dry matter were carried out in Cachoeirinha for a BRS Pampa and BRS Catiana cultivar and in Goianira for a BRS Catiana cultivar. The model was calibrated and evaluated to simulate in an acceptable way the number of leaves in the main stalk, the phenology and accumulation of total dry matter of the aerial part of leaves, stalks and grains, and also for the productivity of cultivars in the tropical region of Brazil, enabling apply the model in the tropical region of irrigated rice production.

Key words: *Oryza sativa* L; Haun scale; new cultivars; phenology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Evolução da produtividade e área cultivada de arroz no Brasil. Fonte: IBGE17
- Figura 2 - Função de resposta da Eficiência do Uso da Radiação à temperatura média diária do ar usada no SimulArrozv.1.1.....23
- Figura 3 - Localização geográfica da área de estudo, mostrando os locais onde foram realizados os experimentos usados na calibração e avaliação do modelo SimulArroz.....25
- Figura 4 - Calibração do processo da emissão de folhas (Estágio de Haun) no colmo principal no modelo SimulArroz para as cultivares BRS Catiana (A) e BRS Pampa (B) em Cachoeirinha/RS no ano agrícola 2015/2016..... 31
- Figura 5 - Figura 5 —Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al. (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 27/10/2017 sob diferentes tipos de irrigação. (A) Condição de irrigação intermitente até o florescimento; (B) solo saturado; (C) Irrigação contínua em todo ciclo; e (D) irrigação intermitente em todo ciclo.....34
- Figura 6 - Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al., (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 10/10/2016 sob diferentes tipos de irrigação. (A) Condição de irrigação intermitente até o florescimento; (B) solo saturado; (C) irrigação contínua em todo ciclo; e (D) irrigação intermitente em todo ciclo.....35
- Figura 7 - Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al., (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 23/09/2015 no sistema de irrigação convencional.....36
- Figura 8 - (a) Número de folhas no colmo principal (HS) (b) número final de folhas no colmo principal (NFF); e (c) fenologia em dias após a emergência (DAE) diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) observado e simulado com o modelo SimulArroz para as cultivares BRS Catiana e BRS Pampa nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019 em Santa Maria, Cachoeirinha, Uruguaiana e Santa Vitória do Palmar e Alegrete, RS e Goianira, GO. Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados.....38
- Figura 9 - Massa da matéria seca (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArozz no nível tecnológico alto.....40

- Figura 10 - Massa da matéria seca de folhas (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn , BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.....41
- Figura 11 - Massa da matéria seca de colmos (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn , BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.....42
- Figura 12- Massa da matéria seca de grãos (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn , BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.....43
- Figura 13- Relação entre produtividade de grãos de arroz irrigado ($Mg\ ha^{-1}$) e Índice de Área Foliar (IAF) para a cultivar BRS Pampa, em Cachoeirinha/RS e para a cultivar BRS Catiana, em Goianira/GO e em Cachoeirinha nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.....44
- Figura 14- Índice de área foliar observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis f, g, h) e em Cachoeirinha (painéis d, e). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn , BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.....45
- Figura 15- Produtividade simulada e observada para duas cultivares de arroz (BRS Catiana e BRS Pampa), sendo para Alegrete/RS, Uruguaiana/RS, Capão do Leão/RS, Cachoeirinha/RS utilizando a cultivar BRS Pampa e Cachoeirinha/RS e Goianira/GO para a cultivar BRS Catiana. Os dados observados foram de experimentos em cinco anos agrícolas (2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019). Os dados simulados são no nível potencial (A) e alto (B) do modelo SimulArroz.....46

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Cultivares de arroz, locais e datas de semeadura dos experimentos de arroz irrigado usados para a calibração e para a avaliação (dados independentes) de emissão de folhas no modelo SimulArroz.....26
- Tabela 2 - Cultivares de arroz, locais e datas de semeadura dos experimentos de arroz irrigado usados para a calibração e para a avaliação (dados independentes) de fenologia e produtividade no modelo SimulArroz.....26
- Tabela 3 - Calibração dos coeficientes genéticos dos processos de emissão de folhas e da fenologia no modelo SimulArroz para duas cultivares de arroz irrigado. $LAR_{máx_{1,2}}$ é a taxa máxima de aparecimento entre a primeira e a segunda folha (folhas dia^{-1}); $STTEM$ indica a soma térmica total necessária para completar a fase de emergência; $STTVG$ indica a soma térmica total necessária para completar a vegetativa - diferenciação da panícula; $STTRP$ indica a soma térmica total necessária para completar a fase diferenciação da panícula – antese; e $STTEG$ indica a soma térmica total necessária para completar a fase antese - maturação fisiológica.....30
- Tabela 4 - Estatísticas de avaliação da capacidade de predição do modelo SimulArroz em simular o Estágio de Haun para duas cultivares de arroz irrigado em Santa Maria, Uruguaiana e Cachoeirinha nos anos agrícolas 2015/2016 e 2019/2020.....32
- Tabela 5 - Estatísticas do desempenho do modelo SimulArroz em simular a data de emergência (EM), diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) para a cultivar BRS Catiana e a cultivar BRS Pampa em Alegrete, Cachoeirinha, Capão do Leão, Santa Vitória do Palmar, e Uruguaiana, RS e Goianira, GO.....37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área do solo amostrado (m ²).
AFE	Área foliar específica (m ² g ⁻¹ de matéria seca foliar).
b	Coefficiente de sensibilidade com valor de -0,3.
CL	Clearfield®.
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento.
Cpnult	Comprimento da penúltima folha.
Cult	Comprimento da última folha.
DLAI	Perda de folhas senescentes e por pragas e doenças (g m ⁻² dia ⁻¹).
DVS	Estádio de desenvolvimento.
dw	Índice de concordância.
EEA	Estação Experimental de Arroz
EM	Emergência.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EXP	Expoente.
f(C)	Função de cronologia.
f(CO ₂)	Função de resposta ao CO ₂ .
f(NT)	Função de correção do nível tecnológico da lavoura.
f(T)	Função de resposta da LAR à temperatura do ar.
FC	Fator de correção da RUE em função da temperatura média do ar.
GCROP	Produção total diária de matéria seca (g m ⁻² dia ⁻¹).
GD	Graus-dia (°C dia)
GLAI	Taxa diária de crescimento de folha (g m ⁻² dia ⁻¹).
GST	Taxa diária de crescimento de colmo (g m ⁻² dia ⁻¹).
HS	Número de folhas no colmo principal.
ICC	Irrigação tradicional realizada durante todo o ciclo
IIC	Representa a irrigação intermitente durante todo o ciclo
IIF	Cenário de irrigação intermitente até a floração e após a inundação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz.
IRRI	International Rice Research Institute.
KDF	Coefficiente de extinção da radiação solar no dossel.
LAI	Índice de área foliar.
LALOSS	Perda de folhas senescentes e por pragas e doenças (g m ⁻² dia ⁻¹).
LAR	Taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia ⁻¹).
LAR _{max1,2}	Taxa máxima de aparecimento da primeira e segunda folhas (folhas dia ⁻¹).
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MS	Matéria Seca (g).
MTF	Massa de matéria seca de folhas (g).
NF	Número de folhas expandidas no colmo principal.
NFF	Número final de folhas.
NGP	Número de grãos panícula ⁻¹ .
NP	Número de Panículas m ⁻² .
NT	Nível Tecnológico.
Ō	Média dos valores observados.
Oi	Valores observados.
ONI	Índice Niño Oceânico
ONU	Organização das Nações Unidas
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa (g m ⁻² MJ ⁻¹ dia ⁻¹).

PARCIAL	Peso parcial (g).
PESO1	Peso de 1 grão (g).
PG	Peso de grão (g).
Pmax	Peso máximo de 1 grão (g).
PMG	Peso de mil grãos.
Prod	Produtividade em Mg ha ⁻¹ .
r	Coefficiente de correlação de Pearson.
R1	Diferenciação da panícula.
R4	Antese.
R9	Maturidade completa dos grãos na panícula.
RLAI	Taxa diária de crescimento da LAI.
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
RMSEn	Raiz do Erro Quadrático Médio normalizado.
RS	Rio Grande do Sul.
RUE	Eficiência do uso de radiação.
S	Média dos valores simulados.
Si	Valores simulados.
SLA	Área foliar específica em m ² g ⁻¹ .
SOCF	Fator de formação das espiguetas (espiguetas/gMS).
SSC	Situação acima da capacidade de campo e abaixo do solo saturado
STa	Soma térmica diária acumulada (°C dia).
STT	Soma térmica total (°C dia).
STTEG	Estimativa de STT da antese até a maturidade fisiológica.
STTEM	Estimativa de STT da sementeira até a emergência.
STTRP	Estimativa de STT da diferenciação da panícula até a antese.
STTVG	Estimativa de STT da emergência até a diferenciação da panícula.
T	Temperatura do ar (°C).
Tb	Temperatura cardinal basal inferior (°C).
Tmax	Temperatura máxima (°C).
Tmed	Temperatura média diária do ar (°C).
Tmin	Temperatura mínima (°C).
Tot	Temperatura cardinal ótima (°C).
TOTALG	Soma do número de grãos (grãos m ⁻²).
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria.
VCUs	Valor de cultivo e uso.
ZARC	Zoneamento Agrícola de Risco Climático

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1 OBJETIVOS	15
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivo específico	15
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CULTURA DO ARROZ	15
2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	17
2.3 MODELAGEM AGRÍCOLA.....	18
2.3.1 MODELO SIMULARROZ.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 EXPERIMENTOS DE CAMPO	24
3.2 MODELO SIMULARROZ	28
3.2.1 CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO	28
3.2.2 ESTATÍSTICAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO DO MODELO	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO	29
4.2 AVALIAÇÃO DO MODELO	31
5 CONCLUSÃO.....	47
6 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de arroz (*Oryza sativa* L.) permaneceu constante nos últimos 5 anos, em que 755 milhões de toneladas foram produzidas em 162 milhões de hectares (FAO, 2021). O Rio Grande do Sul (RS) é responsável por 77% da produção brasileira, com produtividades médias em torno de 9 Mg há⁻¹ (IRGA, 2021), seguido de Santa Catarina (11%) (CONAB, 2021). A região tropical do Brasil representa 10% da produção nacional de arroz irrigado, com produtividade média próximo a 6 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2021). A produção do arroz nessa região é muito importante para a cadeia alimentar, pois a concentração da produção de arroz em uma única região aumenta o desafio logístico e de abastecimento da nação, sendo o Brasil um país continental, e também por ser um grão nutritivo e energético. O arroz contribui em torno de 15% da energia e 10% da proteína consumidas pela população brasileira (UTUMI et al., 2016).

A região tropical do Brasil apresenta duas estações de cultivo no ano (a chuvosa e a seca) e as áreas produtoras se localizam próximas a grandes rios para fornecimento de água para as lavouras. A produtividade de grãos é menor nessa região quando comparada à região subtropical do Brasil devido a menor disponibilidade de radiação solar, e também pela dificuldade no manejo, principalmente em relação à irrigação, altas temperaturas e doenças (brusone) (MEUS et al., 2020). Para reduzir a lacuna de produtividade de manejo nessas lavouras, a modelagem é uma importante ferramenta, pois os modelos estimam com confiança o momento de ocorrência de determinado estágio, aumentando a assertividade das práticas de manejo e maximizando o uso de recursos.

Para o arroz, existem vários modelos de crescimento e desenvolvimento da cultura. Os principais são o CERES-Rice (SINGH et al., 1993) e o ORYZA1 (KROPFF et al., 1994). Dentre eles destaca-se o SimulArroz, desenvolvido e calibrado para as condições de cultivo de arroz irrigado por inundação do RS. O SimulArroz é uma ferramenta que estima a produtividade de grãos considerando diferentes níveis tecnológicos, concentração de CO₂ atmosférico e épocas de semeadura (ROSA et al., 2015; RIBAS et al., 2016; DUARTE JUNIOR et al., 2021), tendo já sido usado utilizado para previsão de safra de arroz (Silva et al., 2016) e no zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) para o arroz irrigado no RS (STEINMETZ et al., 2018; 2019) e é o modelo responsável pela estimativa de produtividade de arroz no aplicativo PlanejArroz (MEUS et al., 2020; DUARTE JUNIOR et al., 2021).

Os modelos agrícolas calibrados e validados são importantes ferramentas para o direcionamento de pesquisas e tomadas de decisão quanto ao desenvolvimento de políticas públicas. Com essa perspectiva, o modelo SimulArroz necessita ser atualizado e aperfeiçoado continuamente para ter capacidade de descrever as complexas interações dos fatores que afetam o crescimento, desenvolvimento e a produtividade de grãos de arroz. Uma das partes mais importantes na atualização continuada de modelos agrícolas são os coeficientes genéticos. À medida que novas cultivares de arroz são introduzidas nos sistemas de produção do Brasil, há a necessidade de introduzir estas genéticas no modelo SimulArroz. Sendo que até então o modelo SimulArroz havia sido calibrado e testado para as cultivares e condições de ambientes subtropicais. De acordo com essa necessidade o objetivo desse trabalho foi calibrar e avaliar o modelo SimulArroz para duas novas cultivares de arroz irrigado.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Atualizar o modelo SimulArroz e aplicar o modelo para a região tropical do Brasil.

1.2 Objetivo específico

Calibrar e avaliar o modelo SimulArroz para duas novas cultivares de arroz, sendo elas a cultivar BRS Catiana e BRS Pampa.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO ARROZ

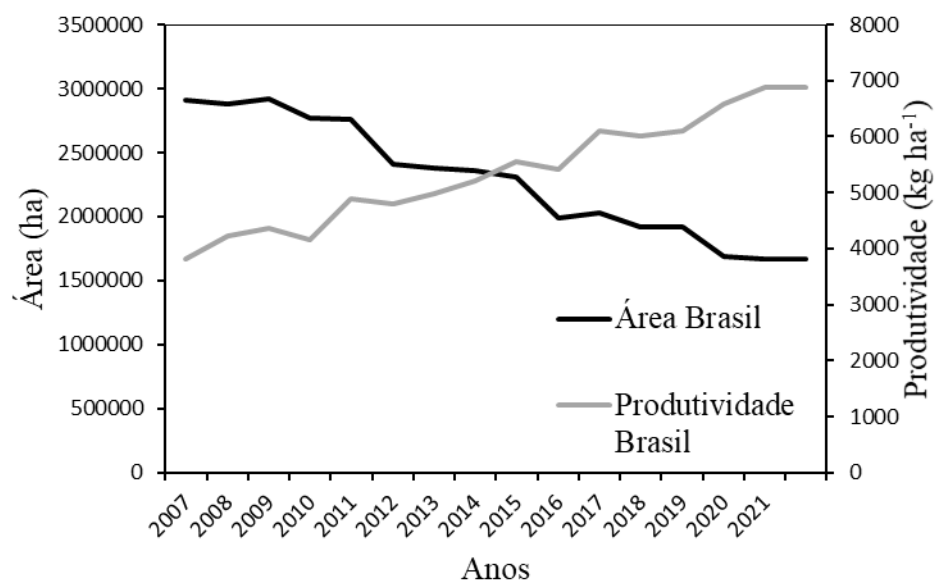
O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta megatérmica, aquática, de cultivo anual, com altura variando de 60 a 150 cm, pertencente a subfamília Oryzoideae (BOLDRINI et al., 2005). O arroz é uma das culturas que possui o maior potencial de aumento de produção, desempenhando um papel estratégico na segurança alimentar (USDA, 2021).

O ciclo de desenvolvimento da cultura do arroz pode ser dividido na Germinação (Semeadura-Emergência) fase vegetativa (V1-R0), reprodutiva (R0-R4) e enchimento de grãos (R4-R9) (COUNCE et al, 2000). Com a semente, a fase de germinação inicia com a embebição da semente e finaliza com a emergência da plântula na superfície do solo. Na emergência ocorre a definição do primeiro componente de produtividade: o número de plantas por unidade de área. A fase vegetativa é caracterizada pelo surgimento das folhas no colmo principal e nos perfilhos, o que vai construindo o índice de área foliar da cultura. A fase reprodutiva começa com a diferenciação do primórdio da panícula, quando é definido o segundo componente de produtividade, o número de panículas por unidade de área. É importante que nesse momento não ocorram estresses, principalmente eventos de temperaturas extremas e redução da disponibilidade de radiação solar (YOSHIDA, 1981; WANG et al., 2015). A fase termina com a antese, quando é definido o terceiro componente de produtividade, o número de grãos por panícula. A fase de enchimento de grãos inicia após o florescimento e é definida pelo crescimento gradual dos grãos, com aumento no tamanho e na massa dos grãos (MEUS et al, 2020), o que define o último componente de produtividade, o peso de grãos. Nesse momento, a restrição de radiação solar é o fator ambiental que reduz o potencial produtivo da cultura, aumentando a porcentagem de espiguetas vazias.

Nos últimos anos houve um aumento considerável na produtividade de arroz no Brasil (Figura 1), atingindo a autossuficiência em 2004, reduzindo a lacuna de produção em relação ao consumo (FINAMORE & MONTROYA, 2006). Um dos motivos é que o arroz faz parte de um dos principais pratos típicos do brasileiro conhecido como “arroz e feijão”. Sendo assim, este grão possui alta demanda nacional e sendo cultivado em grandes áreas com condições favoráveis para altas produções. Além da região Sul do Brasil, a região Centro-Norte vem elevando as suas produtividades médias gradualmente, com pesquisa aplicada em desenvolver novas cultivares mais resistentes a fatores bióticos (como as doenças fúngicas) e adaptadas a problemas gerados por fatores abióticos na região (principalmente relacionados às altas temperaturas). Mesmo com esse considerável avanço na produção de arroz, a situação dos agricultores não melhorou, pois, o custo de produção aumentou. No entanto, estudos mostram que os custos de produção podem ser reduzidos com um sistema de plantio mais adequado (CAPITANI et al., 2011; SOUZA et al., 2017). O arroz pode ser cultivado em muitas regiões

no Brasil, porém desde que com a variedade e método adequado para cada região de cultivo. No Brasil prevalece o cultivo do arroz com irrigação por inundação, sendo a água um recurso cada vez mais escasso no mundo, sendo necessário a consciência de aumentar a eficiência no uso da água na cultura do arroz (COELHO & DA SILVA, 2013).

Figura 1. Evolução da produtividade e área cultivada de arroz no Brasil. Fonte: IBGE.



2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Os principais elementos meteorológicos que mais influenciam no crescimento, desenvolvimento e produtividade cultura do arroz irrigado são a temperatura do ar e a radiação solar global. De maneira geral, a cultura exige temperaturas elevadas da germinação até a floração. Na fase vegetativa, a temperatura basal inferior (T_b) é de aproximadamente 10°C, a temperatura basal superior (T_B) é 45°C e a Temperatura ótima ($T_{ót}$) se encontra na faixa de 20°C a 35°C (HEINEMANN et al. 2009; SOSBAI 2018). Na fase reprodutiva, a T_b é de 15°C, a T_B é de 38°C e $T_{ót}$ ocorre na faixa de 20°C a 30°C (STEINMETZ et al. 2001).

Alguns problemas que podem ser causados pelos elementos climáticos ao longo do ciclo são: temperaturas extremas na floração que podem causar esterilidade de espiguetas e também a baixa disponibilidade de radiação solar na fase de enchimento de grãos que pode fazer com que diminua a produtividade da cultura (DINGKUHN et al., 2015, SOSBAI, 2018). As

condições de radiação solar entre o Rio Grande do Sul e estados produtores da região tropical são próximas, em torno de 20 MJ dia⁻¹, porém as temperaturas na região tropical alcançam valores superiores a 33°C com maior frequência (MARTINS et al., 2016). Essas temperaturas mais altas causam redução na assimilação de CO₂ ocasionando perdas de produtividade (YOSHIDA, 1981; BRITO et al., 2016). Algumas estratégias podem minimizar esses problemas, como o ajuste na data de semeadura (MATTHEWS et al. 1997; SARTORI et al., 2013). Em locais com verões mais quentes, sugere-se retardar a semeadura. Em latitudes maiores, sugere-se antecipar a semeadura. Com as projeções de mudança climática para as próximas décadas, o desafio se torna ainda maior devido a perspectiva de aumento da temperatura do ar e menor disponibilidade de radiação solar (DENG et al., 2015; YANG et al., 2019).

Em função da influência dos elementos climáticos sobre a cultura do arroz, a variabilidade climática ocasiona 30% da variação da produtividade média de arroz no Brasil, sendo que o ENOS (El Niño-Oscilação Sul) é o principal fenômeno com efeito sobre a produção do grão no Rio Grande do Sul (RAY et al., 2015; L'HEUREUX, 2014). O fenômeno ENOS possui duas fases opostas (El Niño e a La Niña), que são analisados a partir do Índice Niño Oceânico (ION), monitorado pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (SUN et al., 2015). Quando há anomalias positivas maiores que 0,5°C na superfície do Oceano Pacífico equatorial por 5 meses subsequentes, configura-se o fenômeno El Niño. Quando houver anomalias negativas maiores que 0,5°C na superfície do Oceano Pacífico equatorial por 5 meses subsequentes, configura-se o fenômeno La Niña. O fenômeno ENOS afeta diretamente o padrão de temperatura e precipitação e, conseqüentemente, a quantidade de radiação solar disponível. Esse fenômeno, na fase quente, impacta em maior frequência de chuvas e dias mais nublados na região Sul do Brasil, já sua fase fria, de maneira geral, favorece uma sequência maior de dias ensolarados, o que favorece maiores produtividades na região subtropical.

2.3 MODELAGEM AGRÍCOLA

A agricultura atual se encontra na fase 4.0, definida como a tecnologia aplicada para a agricultura (RIBEIRO et al., 2018). Neste contexto, os modelos matemáticos têm ganhado maior destaque, pois descrevem complexas interações nos ecossistemas (WALTER et al.,

2012). As principais vantagens de modelos matemáticos são baixo custo, velocidade e projeção de cenários futuros (PESSOA et al., 1997). Para uma boa modelagem agrícola, os modelos utilizados devem estar adaptados e testados para diferentes ambientes, apresentando maior confiança em representar o dado real. Após estar adaptado e testado é possível prever o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura de acordo com os dados meteorológicos usados de determinado local (SHIN et al., 2006; SHIN et al., 2010).

Há diferentes tipos de classificações de modelos matemáticos de simulação. Paustian et al. (1992) indicam a existência dos modelos empíricos (que se baseiam em dados observados), mecanísticos (que se baseiam na descrição do processo que ocorre no sistema) e estocásticos (que levam em conta uma probabilidade). Addiscott (1993) classifica os modelos de simulação em determinísticos, considerando que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido, podendo ser estocásticos.

A caracterização do desenvolvimento das culturas é importante, pois a partição dos fotoassimilados para diferentes órgãos da planta é dependente do estágio de desenvolvimento. Algumas práticas de manejo são consideradas mais eficientes se realizadas em determinados estádios do desenvolvimento (STRECK et al., 2013). É indispensável possuir o entendimento do sistema biológico das plantas, empregando o conhecimento adequado de estratégias de manejo. Geralmente estes coeficientes genéticos são calibrados para as cultivares mais usadas, mas como constantemente se tem lançamentos de novas cultivares no mercado, é preciso uma revisão destes coeficientes e recalibrá-los (GRASSINI et al., 2015).

Na cultura do arroz existem alguns modelos mais complexos que simulam a produtividade de grãos. Os principais são o CERES-Rice (SINGH et al., 1993) e o ORYZA1 (KROPFF et al., 1994). Existem outros modelos com menor complexidade como o InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006) e o SimulArroz (STRECK et al., 2013).

2.3.1 MODELO SIMULARROZ

O modelo SimulArroz foi lançado oficialmente no VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado (CBAI, 2013), em Santa Maria/RS. O SimulArroz é um modelo matemático dinâmico determinístico, baseado em processos, usado para simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos de arroz irrigado (STRECK et al., 2013; ROSA et al., 2015; RIBAS et al., 2016; 2017). O SimulArroz é resultado de partes dos modelos ORYZA 2000 (BOUMAN

et al., 2004) e InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006) e uma parte foi desenvolvida para descrever melhor processos da planta de arroz, como a emissão de folhas.

O modelo SimulArroz vem sendo aplicado com diversas finalidades perante a sociedade. Foi utilizado para realizar um estudo sobre os impactos de mudanças climáticas sobre a cultura do arroz irrigado no estado do RS (WALTER et al., 2014), para simular o crescimento e produtividade de cultivares convencionais de arroz no RS (Rosa et al., 2015) e na previsão de safra de arroz irrigado no Estado (SILVA et al., 2016). A primeira atualização do modelo foi a introdução de cultivares híbridas (PRIME CL, INOV CL e QM 1010 CL (RIBAS et al., 2017). Após, houve a introdução de um submodelo de perda de produtividade de arroz pela competição com arroz-daninho e capim-arroz (RICHTER et al., 2019). Em 2019, o SimulArroz foi utilizado como ferramenta para realizar do Zoneamento Agrícola de Risco de Produtividade para a cultura do arroz irrigado RS (BRASIL, 2019). Em seguida, houve atualização com as cultivares convencionais Puitá INTA-CL e Guri INTA CL (ciclo precoce) e a cultivar IRGA 424 RI (ciclo médio) (RIBAS et al., 2020). Mais recentemente, o SimulArroz foi utilizado para estimar o potencial de produtividade do arroz de acordo com a época de semeadura no Sul do Brasil (DUARTE JÚNIOR, 2021).

Atualmente, o SimulArroz é utilizado como parte do aplicativo PlanejArroz, desenvolvido por uma soma de esforços de instituições públicas Embrapa Clima Temperado, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esse aplicativo é uma ferramenta moderna para o planejamento do manejo e da estimativa de produtividade do arroz irrigado para o RS, sendo dividido em dois módulos: no módulo “manejo” estima-se a data de ocorrência dos estádios fenológicos da cultura, visando o planejamento e a tomada de decisão sobre as práticas de manejo a serem adotadas pelos produtores (STEINMETZ et al., 2020; 2021). No módulo de “Produtividade”, utiliza-se parte do código fonte do modelo SimulArroz para a estimativa da produtividade de grãos, tanto em produtividade média de uma série histórica de 30 anos, quanto na safra mais recente (MEUS et al., 2020).

O modelo SimulArroz necessita de dois tipos de dados de entrada para as simulações: os meteorológicos e os da cultura. Nos dados de cultura, estão inseridas as informações da escolha de cultivares ou de grupo de maturação, épocas de semeadura (ou de emergência?), densidade de plantas (pl m^{-2}), nível de concentração de CO_2 atmosférico e nível tecnológico da lavoura. Os dados meteorológicos necessários são as temperaturas mínimas e máximas diárias do ar ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), os quais devem ser fornecidos em um arquivo txt.

Para a simulação de desenvolvimento da cultura do arroz irrigado é utilizado o método de soma térmica ($^{\circ}\text{C dia}$), de modo que a duração das fases seja definida pelo tempo térmico necessário para o complemento de cada fase. O modelo SimulArroz divide o ciclo de desenvolvimento em 4 diferentes fases: 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), sendo que a duração dessas fases é calculada por meio de soma térmica com 3 temperaturas cardinais (LAGO, 2008, STRECK et al., 2011).

Em relação a produção de matéria seca (MS) na planta de arroz irrigado, no modelo é calculada a partir da Eficiência do Uso da Radiação (RUE) e do Índice de Área Foliar (LAI). O valor de RUE utilizado varia de $2,39 \text{ g MJ}^{-1}$ a $2,93 \text{ g MJ}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel, que vai variar de acordo com a cultivar. O efeito da temperatura sobre a RUE é descrito por uma função resposta de acordo com as temperaturas cardinais de suas respectivas fases. Com temperaturas médias do ar mais próximas da ótima, a RUE é máxima, sendo multiplicada por 1. Quando as temperaturas médias do ar estão sub ou supra ótimas, é multiplicada por um fator de correção menor que 1, que vai fazer com que haja redução da RUE.

Para o cálculo da taxa diária de emissão de folhas no colmo principal no modelo SimulArroz é calculada por (STRECK et al. 2003):

$$\text{LAR} = \text{LAR}_{\text{máx1,2}} \cdot f(T) \cdot f(C) \quad (1)$$

Sendo que LAR é a taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia^{-1}), $\text{LAR}_{\text{máx1,2}}$ é a taxa máxima de aparecimento das duas primeiras folhas (folhas dia^{-1}), devido ainda possuir reservas nutricionais da semente nesse período, $f(T)$ é a função de resposta da LAR à temperatura do ar e $f(C)$ é a função de cronologia que faz decrescer a LAR a partir da terceira folha. A $f(T)$ é uma versão da função beta:

$$f(T) = [2(T - T_b)^{\alpha} (T_{\text{ót}} - T_b)^{\alpha} - (T - T_b)^{2\alpha}] (T_{\text{ót}} - T_b)^{-2\alpha} \quad (2)$$

em que $T_b \leq T \leq T_B$

$$f(T) = 0$$

para $T < T_b$ ou $T > T_B$

$$\alpha = \ln 2 \ln[(T_B - T_b) (T_{\text{ót}} - T_b)] \quad (3)$$

em que T_b , $T_{\text{ót}}$, e T_B são as temperaturas cardinais basal inferior, ótima e temperatura basal superior, respectivamente para LAR, e T é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$). As temperaturas cardinais de emissão de folhas são 11°C (ELLIS; QI; SUMMERFIELD, 1993;

INFELD; SILVA; ASSIS, 1998), 26°C (ELLIS; QI; SUMMERFIELD, 1993) e 40°C (GAO et al., 1992), respectivamente.

A função de cronologia $f(C)$ é dada por:

$$f(T) = 1 \text{ se } HS < 2 \quad (4)$$

$$f(C) = HS / 2^b \text{ se } HS \geq 2 \quad (5)$$

Sabendo que HS é o Estádio de Haun e b é o coeficiente de sensibilidade com valor de -0,3 (STRECK et al., 2003). O número de folhas acumulado no colmo principal, representado pela escala de Haun, é calculado por:

$$HS = \sum LAR \quad (6)$$

em que HS é o Estádio de Haun (folhas no colmo principal). Para o cálculo do progresso da fenologia no SimulArroz, o estágio de desenvolvimento (DVS), foi utilizada a equação:

$$DVS = STa / STT \quad (7)$$

em que STa é a soma térmica diária acumulada (°C dia) e STT é a soma térmica total (°C dia) para completar a fase.

A STa é calculada por (STRECK et al., 2007):

$$STa = (T - Tb)1\text{dia} \quad (8)$$

quando $Tb < T \leq Tót$ e se $T < Tb$ então $STa = 0$

$$STa = [(TB - T) (Tot - Tb) / (TB - Tót)] 1\text{dia} \quad (9)$$

quando $Tot < T \leq TB$, e se $T > TB$ então $STa = 0$ em que Tb, Tót, e TB são as temperaturas cardinais basal inferior, ótima e basal superior. Essas temperaturas cardinais vão variando de acordo com a fase de desenvolvimento, durante o ciclo da cultura, sendo Tb = 11°C, Tót = 30°C e TB = 40°C para as fases semeadura - emergência e emergência - diferenciação da panícula. Na fase diferenciação da panícula - antese a Tb = 15°C, Tót = 25°C e TB = 35°C. Na fase de antese-Maturidade fisiológica a Tb = 15°C, Tót = 23°C e a TB = 35°C (Lago, 2008; Streck et al., 2011). O STT é calculado por:

$$STT = \sum STa \quad (10)$$

O modelo SimulArroz descreve a fenologia a partir da escala DVS que é calculada diariamente, sendo que a fase da emergência é definida como -1 que é representado pela semeadura até o 0 que representa a emergência, a fase vegetativa varia do 0 até a diferenciação do primórdio floral que na escala DVS corresponde a 0,65. A fase reprodutiva começa no estágio 0,65 e termina no estágio 1 que representa a antese ou florescimento, e a fase de enchimento de grãos começa na antese e vai até a maturidade fisiológica que é caracterizado como 2 na escala DVS.

O valor da Eficiência do Uso da Radiação (RUE) no modelo é de $2,39 \text{ g MJ}^{-1}$ da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para cultivares convencionais de arroz irrigado (KINIRY et al., 2001). A RUE é calculada por:

$$\text{RUE} = 2,39 \text{ FC } f(\text{CO}_2) f(\text{NT}) \quad (11)$$

em que FC é o fator de correção da RUE em função da temperatura média do ar, $f(\text{CO}_2)$ é a função resposta ao CO_2 , $f(\text{NT})$ é a função de correção do nível tecnológico da lavoura e o valor de 2,39 é o valor da RUE para as cultivares convencionais de arroz na versão 1.1 do SimulArroz (KINIRY et al., 2001). A temperatura tem efeito sobre a RUE e ela é descrita por uma função de resposta com quatro temperaturas cardinais (SOLTANI et al., 2001) representado na Figura 2. Com essa função, a RUE é máxima quando a temperatura média diária do ar está sob a faixa ótima que corresponde a 22 a 32°C , em que é multiplicada por fator 1, quando as temperaturas estão fora dessa faixa o fator de correção é menor que 1, o que faz com que a RUE seja reduzida (Figura 2).

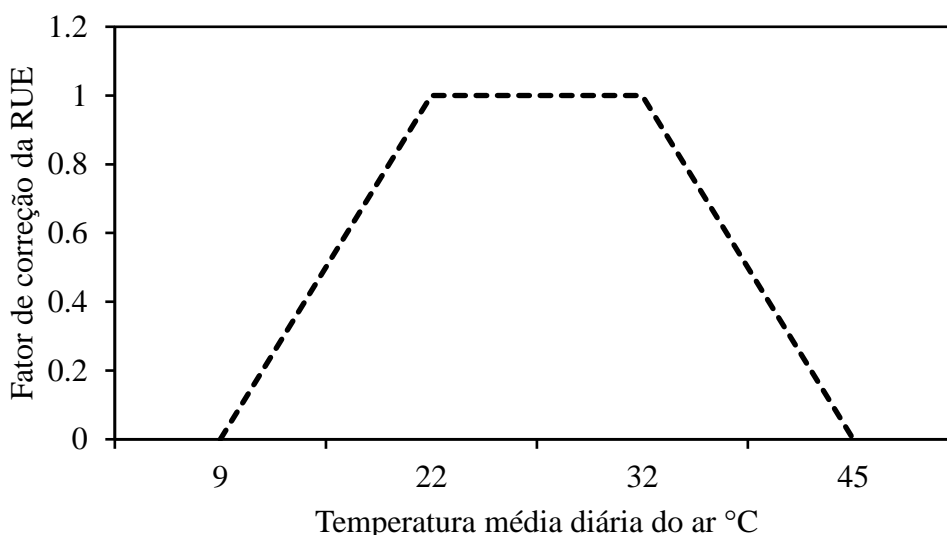


Figura 2. Função de resposta da Eficiência do Uso da Radiação à temperatura média diária do ar usada no SimulArrozv.1.1

A produção de MS pela planta de arroz no modelo SimulArroz foi obtida a partir da RUE e do LAI. No cálculo da produção diária de matéria seca o modelo SimulArroz utiliza a PAR como sendo 50% da densidade de fluxo de radiação solar global incidente, em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O modelo considera que o coeficiente de extinção das folhas à radiação solar é de 0,4 até a antese e 0,6 após a antese (BOUMAN et al., 2004).

Após simulado a produção de matéria seca total diária na planta, o modelo calcula a partição de matéria seca total entre as raízes e a parte aérea, de modo que seja distribuída entre diferentes órgãos da planta, sendo as folhas, colmo e panículas, conforme o estágio de

desenvolvimento em que a planta se encontra (COUNCE; KEISLING; MITCHELL., 2000). A partir da antese começa o processo de senescência das folhas e do colmo, que é calculado pela perda de uma fração do peso acumulado em cada órgão da planta. A MS diária alocada para as folhas, em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, multiplicada pela área foliar específica, em $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ (calculada em função do estágio de desenvolvimento), permite que o peso das folhas seja transformado em área de folhas, no qual calcula-se o LAI, que é atualizado diariamente no cálculo da produção de matéria seca. No primeiro dia de simulação da produção de matéria seca, a área foliar inicial de uma planta é considerada $0,0001 \text{ m}^2$ (BOUMAN et al., 2004) com densidade de 200 plantas m^{-2} o que resulta em LAI inicial de 0,02.

A disponibilidade de radiação solar torna-se mais importante no decorrer do ciclo de desenvolvimento, sendo que após o período de antese até a maturidade fisiológica torna-se um fator mais limitante para a produtividade. O modelo SimulArroz contabiliza esses danos, pois o número de espiguetas formadas em um dia é calculado por um fator de formação de espiguetas (espiguetas/gMS), em função da matéria seca produzida no dia ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no qual resulta em espiguetas $\text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Este valor é acumulado desde a diferenciação da panícula (R1) até a antese (R4) resultando no número total de espiguetas por metro quadrado. A partir da antese (R4), uma parte da matéria seca produzida começa a ser translocada para a panícula, com isso dando início ao enchimento das espiguetas, e após formando os grãos. Após a antese, em adição à matéria seca produzida diariamente, 10% das reservas previamente acumuladas no colmo são translocadas para os grãos todos os dias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTOS DE CAMPO

Foram realizados experimentos de campo em diversos locais do RS e também em Goiás. No estado de Goiás os experimentos foram conduzidos pela EMBRAPA Arroz e Feijão no município de Goianira/GO ($16^\circ 41' \text{ S}$, $49^\circ 38' \text{ W}$). Além disso, foram conduzidos experimentos na estação de pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), de Cachoeirinha/RS ($29^\circ 57' \text{ S}$, $51^\circ 5' \text{ W}$), na estação de pesquisa da EMBRAPA Clima Temperado, em Capão do Leão/RS ($31^\circ 76' \text{ S}$, $52^\circ 44' \text{ W}$), Uruguaiana/RS ($29^\circ 83' \text{ S}$, $57^\circ 08' \text{ W}$), Santa Maria/RS ($29^\circ 72' \text{ S}$, $53^\circ 72' \text{ W}$), Alegrete/RS ($29^\circ 79' \text{ S}$, $55^\circ 78' \text{ W}$) e Santa Vitória do Palmar/RS ($33^\circ 52' \text{ S}$, $53^\circ 37' \text{ W}$). Na Figura 3 estão indicados os locais de realização dos experimentos.

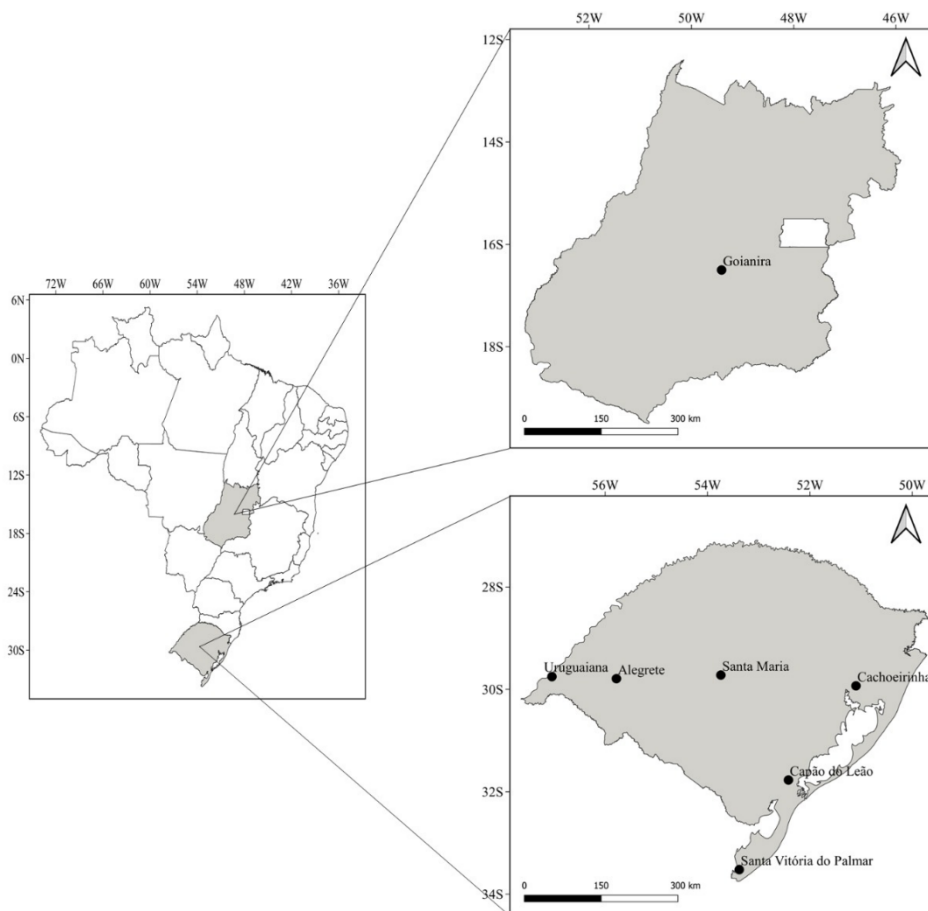


Figura 3 — Localização geográfica da área de estudo, mostrando os locais onde foram realizados os experimentos usados na calibração e avaliação do modelo SimulArroz.

Foram utilizados dados de 5 anos agrícolas, com épocas de semeadura distintas. Na Tabela 1 estão descritas as 2 cultivares utilizadas, juntamente com os locais utilizados para a calibração e avaliação da emissão de folhas. Para a calibração de emissão de folhas foram realizadas avaliações na Estação Experimental do Arroz (EEA) do IRGA, em Cachoeirinha/RS, na safra 2015/16, com delineamento de blocos ao acaso. O experimento usado para avaliação de emissão de folhas para a cultivar BRS Catiana, em Santa Maria/RS, foi realizado utilizando a metodologia de cultivo em vasos. Foram dispostos 10 vasos enterrados e irrigados diariamente para a manutenção da lâmina de água, com 5 plantas cada. As avaliações foram realizadas 2 vezes por semana. Para a avaliação da fenologia, foi realizada a validação cruzada entre todos os experimentos descritos na Tabela 2. A validação cruzada consiste em comparar a resposta entre diferentes locais quando expostos à mesma calibração.

Tabela 1. Cultivares de arroz, locais e datas de semeadura dos experimentos de arroz irrigado usados para a calibração e para a avaliação (dados independentes) de emissão de folhas no modelo SimulArroz.

CALIBRAÇÃO			AVALIAÇÃO	
CULTIVAR	LOCAL	DATA DE SEMEADURA	LOCAL	DATA DE SEMEADURA
BRS Catiana	Cachoeirinha	03/12/2015	Uruguaiiana	21/09/2019
			Santa Maria	08/01/2020
BRS Pampa	Cachoeirinha	09/11/2015	Cachoeirinha	01/10/2015

As duas cultivares utilizadas nesse trabalho apresentam boa representatividade nas áreas de produção de arroz irrigado no Brasil. A cultivar BRS Catiana foi lançada no ano de 2016 pela EMBRAPA, sendo uma cultivar de ciclo médio e uma das cultivares que possui altas produtividades no ambiente tropical e subtropical (RANGEL et al., 2019). A cultivar BRS Pampa possui ciclo precoce, elevado potencial de produtividade, tendo sido lançada em 2011.

Tabela 2. Cultivares de arroz, locais e datas de semeadura dos experimentos de arroz irrigado usados para a calibração e para a avaliação (dados independentes) de fenologia e produtividade no modelo SimulArroz.

CALIBRAÇÃO			AVALIAÇÃO	
CULTIVAR	LOCAL	DATA DE SEMEADURA	LOCAL	DATA DE SEMEADURA
BRS Catiana	Goianira	27/10/2017	Cachoeirinha	03/12/2015
			Goianira	17/10/2014, 28/11/2014, 10/10/2016, 23/09/2015, 27/10/2017
BRS Pampa	Cachoeirinha	09/11/2015	Cachoeirinha	01/10/2015, 03/12/2015, 20/10/2016, 23/10/2017,
			Capão do Leão	01/11/2017, 28/10/2017, 08/11/2017
			Alegrete	13/10/2015
			Uruguaiiana	20/10/2014, 05/10/2015

Nos experimentos realizados em Cachoeirinha/RS, as dimensões de cada parcela foram de 20 m por 13 m, com o delineamento de blocos ao acaso. Para a obtenção da produtividade de grãos foram colhidos 20 m² de cada parcela e cultivar. Em Goianira/GO, os experimentos foram realizados no delineamento de faixas de semeaduras, por meio do plantio no seco, sendo

que somente o experimento do ano agrícola 2014/2015 foi realizado por meio de transplante. Para os experimentos dos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018 em Goianira, foram realizados diferentes tipos de tratamentos em relação a irrigação das parcelas. Os métodos de irrigação foram: ICC = que representa a irrigação tradicional realizada durante todo o ciclo; SSC = representa uma condição próxima ao solo saturado, sendo uma situação acima da capacidade de campo e abaixo do solo saturado; IIF = representa o cenário de irrigação intermitente até a floração e após a inundação, sendo que a irrigação é realizada na falta ou na diminuição da lâmina de água; IIC = representa a irrigação intermitente durante todo o ciclo. Os experimentos realizados em Capão do Leão, Uruguaiana, Alegrete e Santa Vitória do Palmar são ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) conduzidos pelo EMBRAPA.

A data de emergência foi determinada no dia em que, pelo menos, 50% das plantas estivessem acima do nível do solo. As avaliações foram realizadas em 1 m em cada parcela até que o número de plantas estabilizasse. Em todos os experimentos foram realizadas coletas de matéria seca (MS), separadas em folhas verdes, folhas senescentes, colmos e panículas. Após a separação, o material foi seco em estufas com temperatura de 60°C. Nos experimentos, em cada parcela foram marcadas 4 plantas uma semana após a emergência, com identificações coloridas para serem identificadas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Nessas plantas, foram realizadas avaliações 2 vezes por semana ou a cada 3 dias até a formação do colar da folha bandeira, dependendo do experimento. Nessas avaliações foi determinado o número de folhas no colmo principal de acordo com a Escala de Haun do inglês Haun Stage (HS) (HAUN, 1973) determinado através da equação:

$$HS = NF + \frac{Cult}{Cpnult} \quad (12)$$

O HS indica o número de folhas no colmo principal (Haun Stage), sendo NF o número final de folhas expandidas no colmo principal; Cpnult é o comprimento (cm) da penúltima folha (última folha expandida); e Cult é o comprimento (cm) da última folha não expandida.

Nessas plantas, foi determinada as datas em que 50% das plantas se encontravam no estágio de R1 (diferenciação da panícula). Nesse estágio, a amostragem em 10 plantas de cada parcela ocorreu pelo método destrutivo (STEINMETZ et al., 2009). O critério de 50% das plantas também foi utilizado para a determinação dos estádios R4 (florescimento ou antese) e R9 (maturidade completa dos grãos da panícula).

3.2 MODELO SIMULARROZ

3.2.1 CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO

Para a estimativa do $LAR_{m\acute{a}x 1,2}$ das duas cultivares foi utilizado o método dos mínimos quadrados, que consiste em minimizar a diferença entre os valores observados e simulados. Após, foi realizada a calibração da evolução da fenologia, utilizando o método DVS. A estimativa para Soma Térmica Total (STT) foi realizada para cada fase de desenvolvimento da semeadura até emergência (STTEM), da emergência até a diferenciação da panícula (STTVG), da diferenciação da panícula até a antese (STTRP) e da antese até a maturidade fisiológica (STTEG).

Para a simulação do crescimento da cultura, foram utilizadas calibrações de outras cultivares com características semelhantes relacionados à MS da parte aérea (folhas verdes, colmos e panícula). A avaliação de emissão de folhas e fenologia foi realizada com dados independentes de HS, da data de emergência e da data de ocorrência dos estádios V3, R1, R4 e R9 coletados nos experimentos de Uruguaiana/RS, Santa Maria/RS, Pelotas/RS, Cachoeirinha/RS, Alegrete/RS e Goianira/GO. Para a validação dos sub-modelos de crescimento e produtividade foram usados dados independentes de MS total da parte aérea (de folhas, de colmos e de folhas senescentes) e produtividade, coletados nos experimentos de Cachoeirinha/RS, no ano agrícola 2015/2016 para a cultivar BRS Pampa, e nos experimentos em Goianira/GO nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e em Cachoeirinha/RS, no ano agrícola 2016/2017, para a cultivar BRS Catiana.

Na avaliação com dados independentes, o modelo SimuArroz foi rodado nos níveis tecnológicos potencial e alto, para as variáveis MS total e de diferentes órgãos da planta, IAF e de produtividade de grãos. O objetivo das rodadas nos dois níveis foi testar como os dados observados se ajustam aos níveis tecnológicos do modelo (RIBAS et al., 2016) citar aqui os artigos da Giovana que também fizeram isso).

3.2.2 ESTATÍSTICAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO DO MODELO

O desempenho do SimulArroz foi avaliado pelas estatísticas: Raiz do Erro Quadrático Médio, do inglês *Root Mean Square Error* (RMSE), Raiz do Erro Quadrático Médio normalizado (RMSEn), índice de concordância (dw) e coeficiente de correlação de Pearson (r). O RMSE expressa o erro médio do modelo, e é calculado através da equação (JANSSEN; HEUBERGER, 1995):

$$\text{RMSE} = [\sum(\text{Si}-\text{Oi})^2/n]^{0.5} \quad (13)$$

Em que Si são os valores simulados, Oi são os valores observados e n é o número de observações. O RMSEn normalizado foi calculado através da equação (JANSSEN; HEUBERGER,1995):

$$\text{RMSEn}=100.\text{RMSE}/O \quad (14)$$

Em que O é a média dos valores observados.

O índice “dw” foi calculado por (BORGES; MENDIONDO, 2007, SAMBORANHA et al., 2013):

$$\text{dw} = 1 - \sum(\text{Si} - \text{Oi})^2 / [(\sum(\text{Si} - \bar{O}) + (\sum(\text{Oi} - \bar{O}))^2] \quad (15)$$

O valor de r foi calculado por (BORGES; MENDIONDO, 2007, SAMBORANHA et al., 2013):

$$r = \sum(\text{Oi} - \bar{O})(\text{Si} - \text{S}) \{[\sum(\text{Oi} - \bar{O})^2][\sum(\text{Si} - \text{S})^2]\}^{0.5} \quad (16)$$

Em que Si são os valores simulados, S é a média dos valores simulados, Oi são os valores observados e \bar{O} é a média dos valores observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO

O processo de calibração foi dividido em dois passos, primeiramente realizou-se a calibração de emissão de folhas e posteriormente a da fenologia para ambas cultivares, BRS Catiana e BRS Pampa. O valor encontrado para o $\text{LAR}_{\text{máx1,2}}$ (taxa máxima de aparecimento entre a primeira e a segunda folha) foi maior para a cultivar BRS Catiana e o menor valor foi para a cultivar BRS Pampa (Figura 4), indicando uma maior taxa de aparecimento de folhas

para a cultivar BRS Catiana (Tabela 3). A soma térmica para a fase semeadura – emergência foi similar entre as cultivares. Para a fase vegetativa, a cultivar BRS Catiana apresentou um maior tempo térmico para o complemento dessa fase. De maneira geral, cultivares que tem a fase vegetativa mais longa produzem área foliar por mais tempo, o que favorece um maior acúmulo de fotoassimilados no colmo, que após pode ser translocado para o enchimento de grãos (STRECK et al., 2006). O tempo térmico total do ciclo das cultivares evidenciou a diferença entre as cultivares usadas nesse trabalho, sendo que os valores encontrados foram de 913 e 1038°C dia para BRS Pampa e BRS Catiana, respectivamente.

Tabela 3 — Calibração dos coeficientes genéticos dos processos de emissão de folhas e da fenologia no modelo SimulArroz para duas cultivares de arroz irrigado. $LAR_{máx1,2}$ é a taxa máxima de aparecimento entre a primeira e a segunda folha (folhas dia⁻¹); STTEM indica a soma térmica total necessária para completar a fase de emergência; STTVG indica a soma térmica total necessária para completar a vegetativa - diferenciação da panícula; STTRP indica a soma térmica total necessária para completar a fase diferenciação da panícula – antese; e STTEG indica a soma térmica total necessária para completar a fase antese - maturação fisiológica.

Coeficiente	Unidade	Cultivares	
		BRS Catiana	BRS Pampa
$LAR_{máx1,2}$	folhas dia ⁻¹	0.372	0.278
STTEM	°C dia	110.61	88.9
STTVG	°C dia	718.9	596.3
STTRP	°C dia	115	107.5
STTEG	°C dia	93.5	120.6

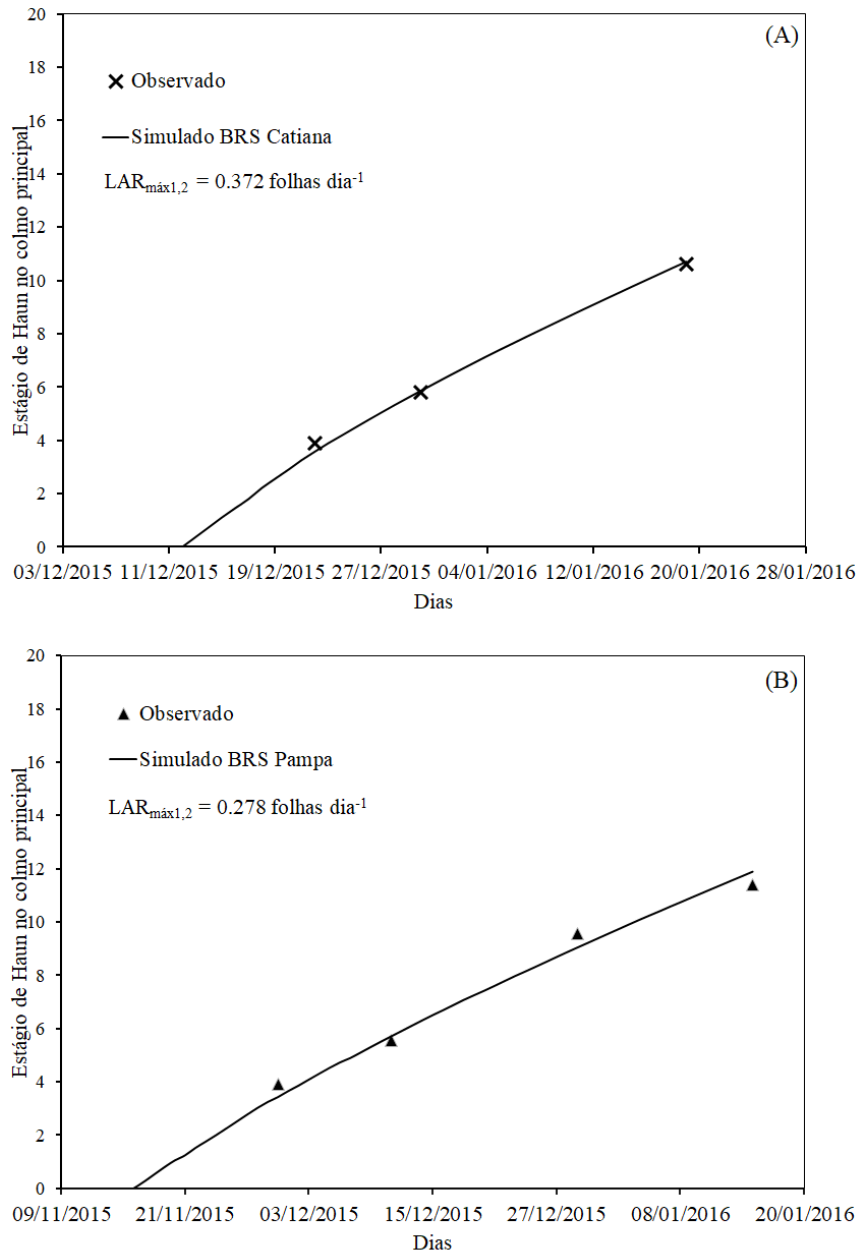


Figura 4 — Calibração do processo da emissão de folhas (Estágio de Haun) no colmo principal no modelo SimulArroz para as cultivares BRS Catiana (A) e BRS Pampa (B) em Cachoeirinha/RS no ano agrícola 2015/2016.

4.2 AVALIAÇÃO DO MODELO

O HS (Escala de Haun) para as duas cultivares apresentaram um RMSE entre 0.4 e 0.7 folhas no colmo principal (Tabela 4). O RMSE mais alto ocorreu na cultivar BRS Catiana em Urugaiana RS. Resultados similares foram encontrados por STRECK et al. (2008), indicando variação do RMSE entre 0.6 e 0.9 folhas ao utilizarem o modelo Wang Engel para prever o

desenvolvimento de folhas. Além disso, Ribas et al. (2017) indicam RMSE semelhantes (0.6 a 1.9 folhas) aos encontrados neste trabalho, porém para a calibração de cultivares híbridas no modelo SimulArroz. O índice BIAS variou de -0.032 a 0.031, indicando uma boa precisão do modelo. Baseado nos valores estatísticos encontrados nesse estudo, o modelo simula de forma satisfatória o número de folhas para ambas as cultivares.

Tabela 4 — Estatísticas de avaliação da capacidade de predição do modelo SimulArroz em simular o Estágio de Haun para duas cultivares de arroz irrigado em Santa Maria, Uruguaiiana e Cachoeirinha nos anos agrícolas 2015/2016 e 2019/2020.

Local	Estatística	BRS Catiana	BRS Pampa
Santa Maria	RMSE	0.478	-
	BIAS	0.03	-
	dw	0.988	-
	r	0.981	-
Uruguaiiana	RMSE	0.790	-
	BIAS	0.032	-
	dw	0.77	-
	r	1	-
Cachoeirinha	RMSE	-	0.432
	BIAS	-	0.03
	dw	-	0.99
	r	-	0.99

RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio (folhas no colmo principal), BIAS = Índice Bias, dw = Índice de concordância, r = Coeficiente de correlação de Pearson.

As principais práticas de manejo no início do ciclo de desenvolvimento da cultura do arroz irrigado estão diretamente relacionadas com o número de folhas no colmo principal. Um momento crítico no cultivo de arroz é no estágio V3 (3 folhas expandidas no colmo principal), quando se recomenda a aplicação de uma das parcelas da fertilização nitrogenada em cobertura e de herbicidas, seguida pela entrada de água. Essas práticas de manejo favorecem um perfilhamento mais homogêneo, e o controle de plantas daninhas, elevando a produtividade da lavoura. O atraso na entrada de água após V3 reflete em perdas de produtividades significativas,

como indica Marcolin et al. (2005). Com a entrada de água em V5, a penalização é de 1800 kg ha⁻¹. Outra preocupação durante este momento é com o controle de plantas daninhas, um dos principais fatores bióticos que geram a lacuna de produtividade do arroz irrigado. Mais de 50 % das áreas de produção de arroz do RS apresentam infestação de plantas daninhas acima do tolerável (FRUET et al., 2020).

Diante disso, foram realizadas simulações no modelo SimulArroz utilizando como base os dados de estádios vegetativos. Foi simulado o número de folhas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura de acordo com o valor de $LAR_{max 1,2}$ calibrado para a cultivar BRS Catiana. Esses resultados são referentes aos experimentos nos 3 anos agrícolas conduzidos pela EMBRAPA Arroz e Feijão em Goianira, Goiás. De maneira geral, o modelo superestimou os dados observados durante todo o ciclo no ano agrícola 2017/2018, principalmente após a décima folha expandida, em que foi observada uma menor taxa de surgimento de folhas nos dados observados (Figura 5). Os resultados da simulação dos estádios vegetativos no ano agrícola 2016/2017 foram considerados adequados, principalmente em relação aos estádios iniciais, com RMSE nos estádios V3/V4. A variação do RMSE ocorreu entre 0.5 a 1 folha, porém no final do ciclo houve maior discrepância entre os dados observados e simulados (Figura 6). Para o ano agrícola 2015/2016, a simulação do modelo representou de forma satisfatória a curva de desenvolvimento com RMSE de 1.15 folhas durante todo o ciclo (Figura 7), demonstrando maior competência do modelo SimulArroz em simular os estádios vegetativos.

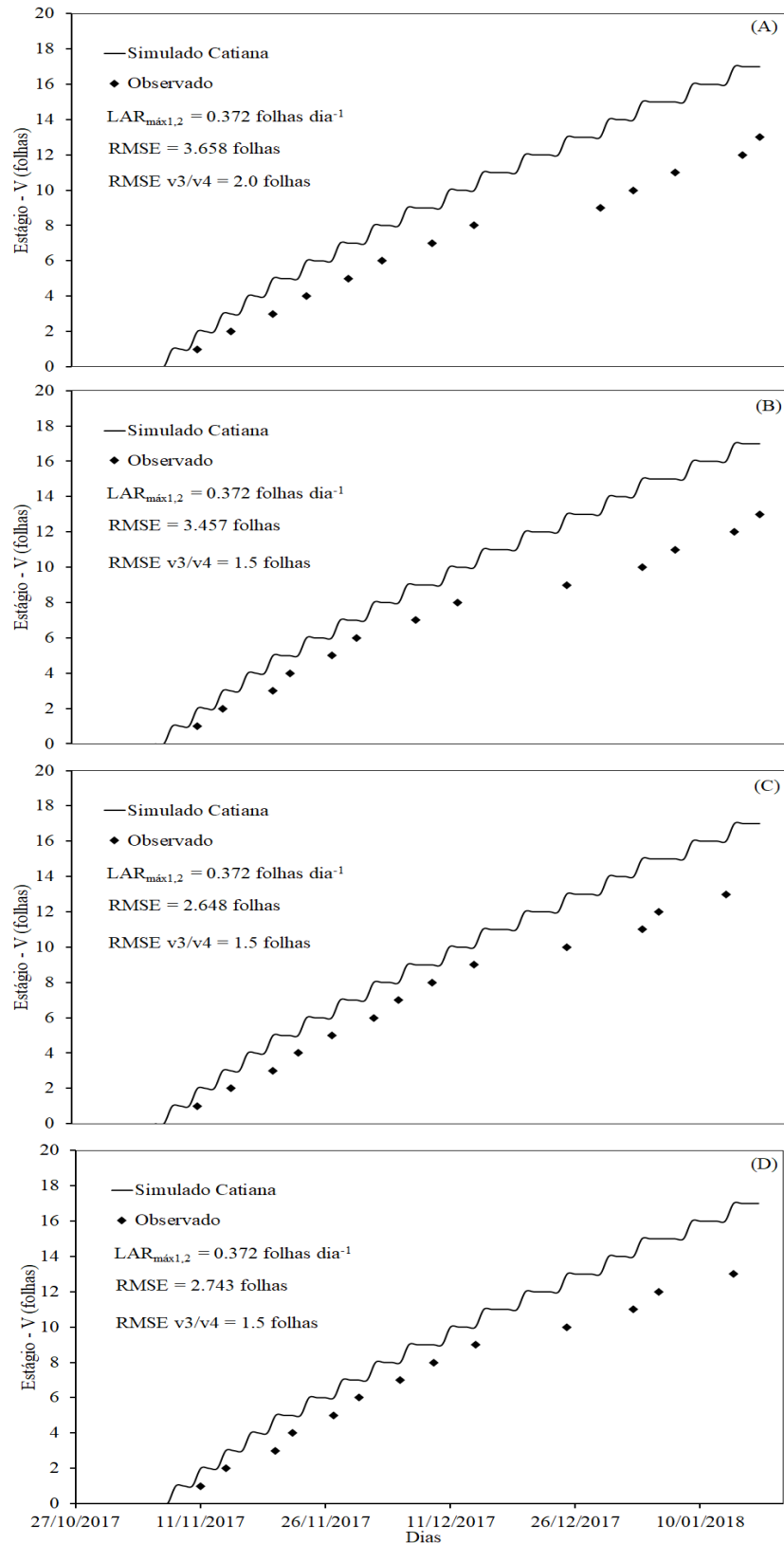


Figura 5 —Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al. (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 27/10/2017 sob diferentes tipos de irrigação. (A) Condição de irrigação intermitente até o florescimento; (B) solo saturado; (C) Irrigação contínua em todo ciclo; e (D) irrigação intermitente em todo ciclo.

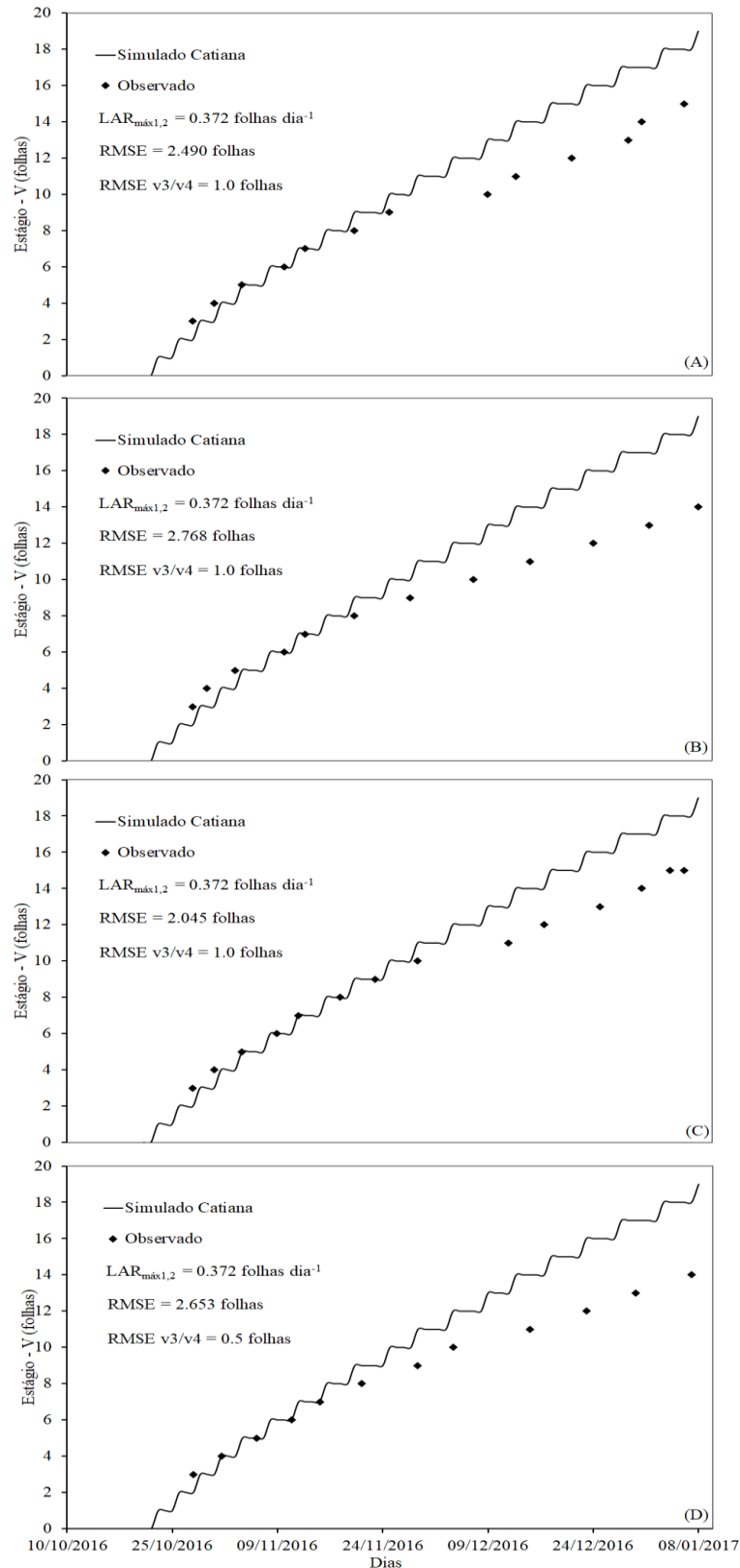


Figura 6 — Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al., (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 10/10/2016 sob diferentes tipos de irrigação. (A) Condição de irrigação intermitente até o florescimento; (B) solo saturado; (C) irrigação contínua em todo ciclo; e (D) irrigação intermitente em todo ciclo.

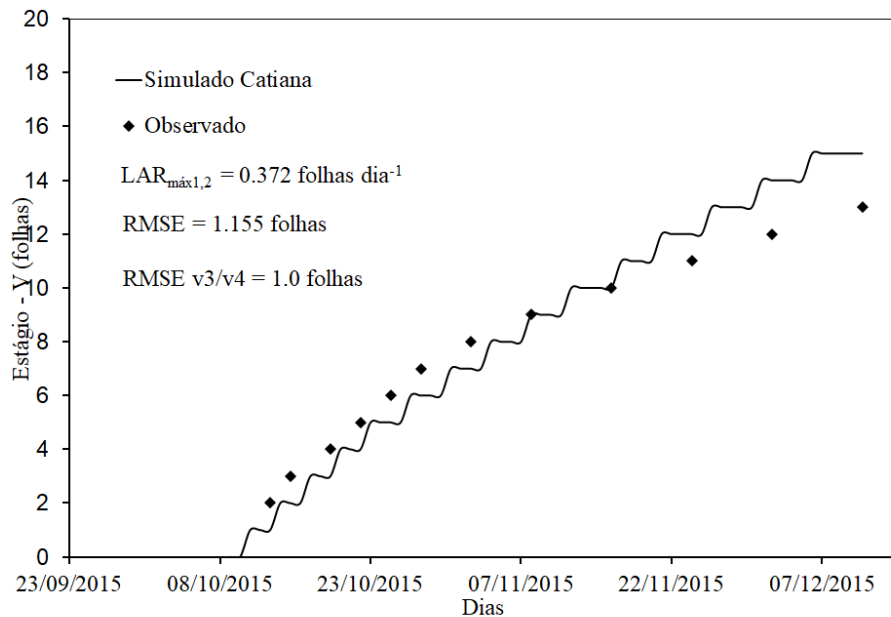


Figura 7 — Emissão de folhas, representado pelo estágio V (folhas) no colmo principal da Escala de Counce et al., (2000) observado e simulado pelo modelo SimulArroz para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO, com data de semeadura em 23/09/2015 no sistema de irrigação convencional.

Em relação a fenologia os experimentos com a cultivar BRS Pampa, observou-se a variação de RMSE de 5.8 a 7.9 dias entre os dados simulados e observados (Tabela 5). O índice BIAS apresentou valores negativos em todos os locais para a cultivar BRS Pampa, o que significa uma leve subestimação do modelo para os experimentos. Para a cultivar BRS Catiana o RMSE variou de 4.6 a 9.1 dias, sendo a melhor performance do modelo em prever os estádios fenológicos aconteceu nas condições dos experimentos em Goianira/GO, onde essa cultivar é uma das mais produzidas. O RMSE médio para esses estádios de desenvolvimento com as duas cultivares em todos os locais, ficou entre 5.2 e 7.1 dias. Esses valores estão próximos a RMSE de 3 a 8 dias encontrados por Ribas et al (2020) na validação das cultivares IRGA 424 RI, Puitá INTA CL e Guri INTA CL também no modelo SimulArroz. Na Itália, Mongiano et al (2019) também encontrou RMSE variando de 5.5 a 7.1 dias para os estádios de R1 e R9, utilizando o modelo WOFOST_GT.

De maneira geral, o modelo superestimou o NFF observado (Figura 8b), principalmente para a cultivar BRS Catiana que possui maior ciclo, chegando a 18 folhas simuladas no colmo principal. Para avaliação de HS (Figura 8a) o modelo conseguiu descrever o comportamento do dado observado para ambas as cultivares, com RMSE aproximado de 0.5 folhas. Menores RSME (0.6 a 1.4 folhas) foram relatados por Ribas et al. (2017), porém para cultivares híbridas,

que possuem partição de matéria seca distinta das cultivares convencionais. Para a avaliação de fenologia foi observada subestimação por parte do modelo nas duas cultivares, principalmente no estágio R9 (Figura 8c). Isso indica que o SimulArroz antecipou a data da maturação fisiológica. Resultados semelhantes foram encontrados por Rotter et al (2012), indicando RMSE elevado para estimar a maturidade do trigo e cevada, com valores máximos que variaram de 12.6 a 11.5 dias.

Tabela 5 — Estatísticas do desempenho do modelo SimulArroz em simular a data de diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) para a cultivar BRS Catiana e a cultivar BRS Pampa em Alegrete, Cachoeirinha, Capão do Leão, Santa Vitória do Palmar, e Uruguaiana, RS e Goianira, GO.

Local	Estatística	BRS Catiana	BRS Pampa
Uruguaiana	RMSE	-	5.831
	BIAS	-	-0.055
	dw	-	0.996
	r	-	0.999
Alegrete	RMSE	-	7.87
	BIAS	-	-0.075
	dw	-	0.994
	r	-	0.999
Cachoeirinha	RMSE	9.124	5.96
	BIAS	0.116	-0.064
	dw	0.987	0.994
	r	0.995	0.997
Capão do Leão	RMSE	-	7.79
	BIAS	-	-0.057
	dw	-	0.993
	r	-	0.998
Goianira	RMSE	4.637	-
	BIAS	-0.01	-
	dw	0.997	-
	r	0.995	-
Santa Vitória do Palmar	RMSE	-	6.62
	BIAS	-	-0.053
	dw	-	0.995
	r	-	1
Todos os locais	RMSE	5.261	7.126
	BIAS	0.001	-0.058
	dw	0.997	0.994

r

0.993

0.998

RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio (folhas no colmo principal), BIAS = Índice Bias, dw = Índice de concordância, r = Coeficiente de correlação de Pearson.

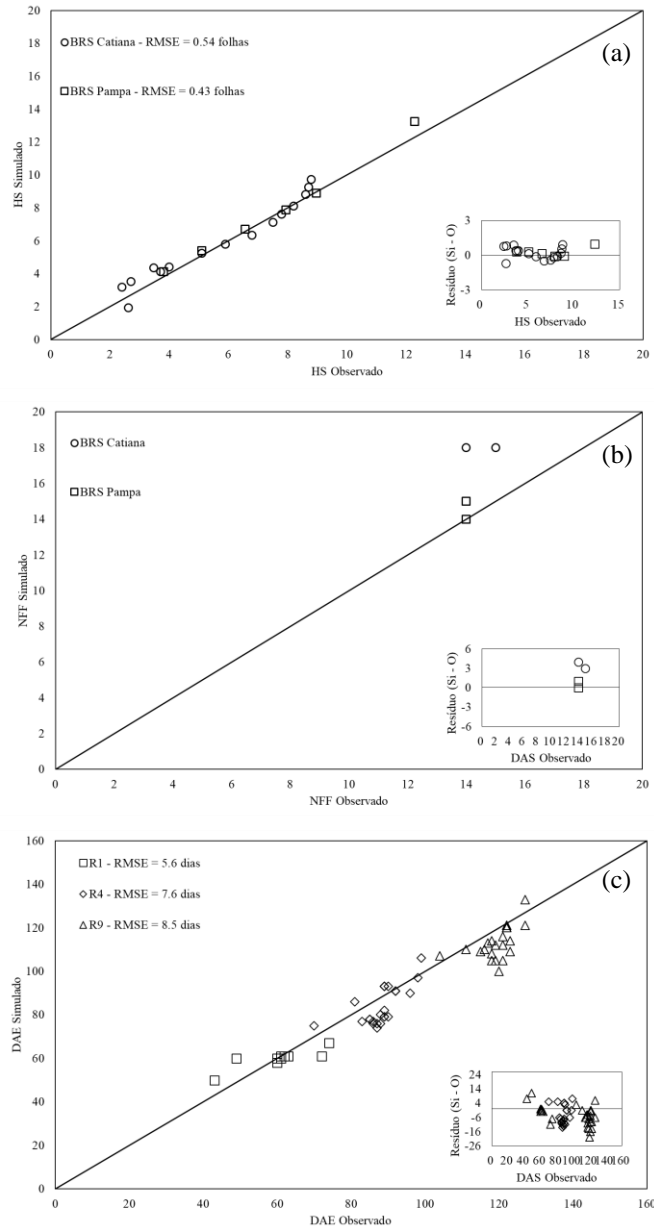


Figura 8 — (a) Número de folhas no colmo principal (HS) (b) número final de folhas no colmo principal (NFF); e (c) fenologia em dias após a emergência (DAE) diferenciação da panícula (R1), antese (R4) e maturidade fisiológica (R9) observado e simulado com o modelo SimulArroz para as cultivares BRS Catiana e BRS Pampa nos anos agrícolas 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019 em Santa Maria, Cachoeirinha, Uruguaiiana e Santa Vitória do Palmar e Alegrete, RS e Goianira, GO. Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados.

Conhecer e entender o crescimento das plantas juntamente com o acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta é essencial para estimar a produtividade por meio de

modelos matemáticos (MEUS et al., 2020). Assim, foi realizado a validação de produção de MS na planta, com dois níveis tecnológicos, potencial e alto do modelo SimulArroz (RIBAS et al., 2020). O maior RMSE em relação a matéria seca total da parte aérea foi encontrado para a cultivar BRS Catiana no ano agrícola 2015/2016 em Goianira/GO, com 577 g m^{-2} no nível tecnológico potencial e 718 g m^{-2} para o nível tecnológico alto (Figura 9). Essa diferença se deve a maior discrepância na comparação de matéria seca de colmos, onde o modelo subestimou os dados observados. Essa discrepância dos dados observados em relação aos dados simulados referente ao ano agrícola 2015/2016 também ocorreu em relação a produtividade de grãos, o que se atribui a variabilidade de solo na área experimental. Os resultados mais próximos do observado nos anos agrícolas (2016/2017, 2017/2018) com RMSE inferior a 200 g m^{-2} para o nível potencial e com RMSE inferior a 30% (Figura 1). Os dados de MS total da parte aérea estão de acordo com os encontrados por Ribas et al (2020), que também encontraram RMSE de 30% para a cultivar Guri INTA CL e de RMSE de 38% para a cultivar IRGA 424 RI. A comparação entre os dados simulados nos níveis tecnológicos potencial e alto com os dados observados nos experimentos indicam a sensibilidade do SimulArroz aos diferentes ambientes de produção. De maneira geral, o modelo conseguiu estimar a produção de MS na planta.

Para a MS de folhas, o RMSE variou de 38.04 a 133 g m^{-2} para o nível tecnológico potencial, com redução no nível tecnológico alto (33.3 a 98.6 g m^{-2}). Houve superestimação do modelo para a cultivar BRS Catiana no ano agrícola 2016/2017, apresentando Índice BIAS de 0.89 (Figura 10). Essa dificuldade em simular a massa da matéria seca também foi encontrada por SOUZA (2013) na validação do modelo ORYZA-DSSAT para as condições de Tocantins, com destaque para o índice dw de 0.75 , cujo valor bem próximo ao encontrado no ano agrícola 2016/2017, com índice dw variando de 0.59 a 0.76 . Os dados de MS de colmos apresentaram o maior RMSE (105 a 383 g m^{-2}), reforçando a dificuldade do modelo em estimar a MS desse órgão. O Índice BIAS de -0.6 para a cultivar BRS Catiana do ano agrícola 2016/2017 indicou que o modelo subestimou os dados observados (Figura 11). Esses resultados foram de acordo com os encontrados por MENEZES (2021), no qual se buscou a validação da mesma cultivar BRS Catiana para o modelo ORYZAv3, nesse estudo também houve uma subestimativa do modelo em relação ao observado. Para a simulação de MS de grãos, os dados simulados se aproximaram dos dados observados na maioria dos experimentos. O maior RMSE (383 g m^{-2}) ocorreu para a cultivar BRS Catiana, no ano agrícola 2015/2016 (Figura 12). A comparação entre os dados simulados nos níveis tecnológicos potencial e alto com os dados observados nos experimentos indicam a sensibilidade do SimulArroz aos diferentes ambientes de produção. De

maneira geral, o modelo conseguiu estimar a produção de MS na planta, mesmo com discrepâncias entre dados simulados e observados.

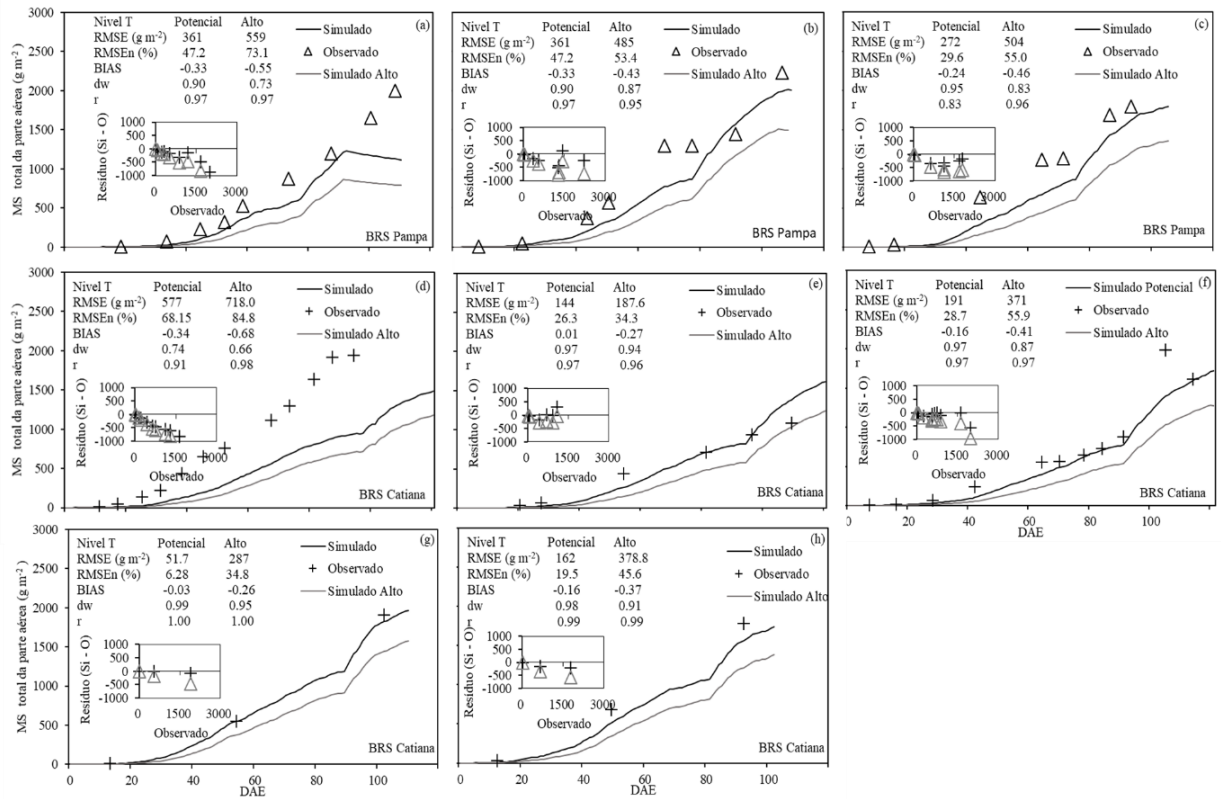


Figura 9— Massa da matéria seca (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.

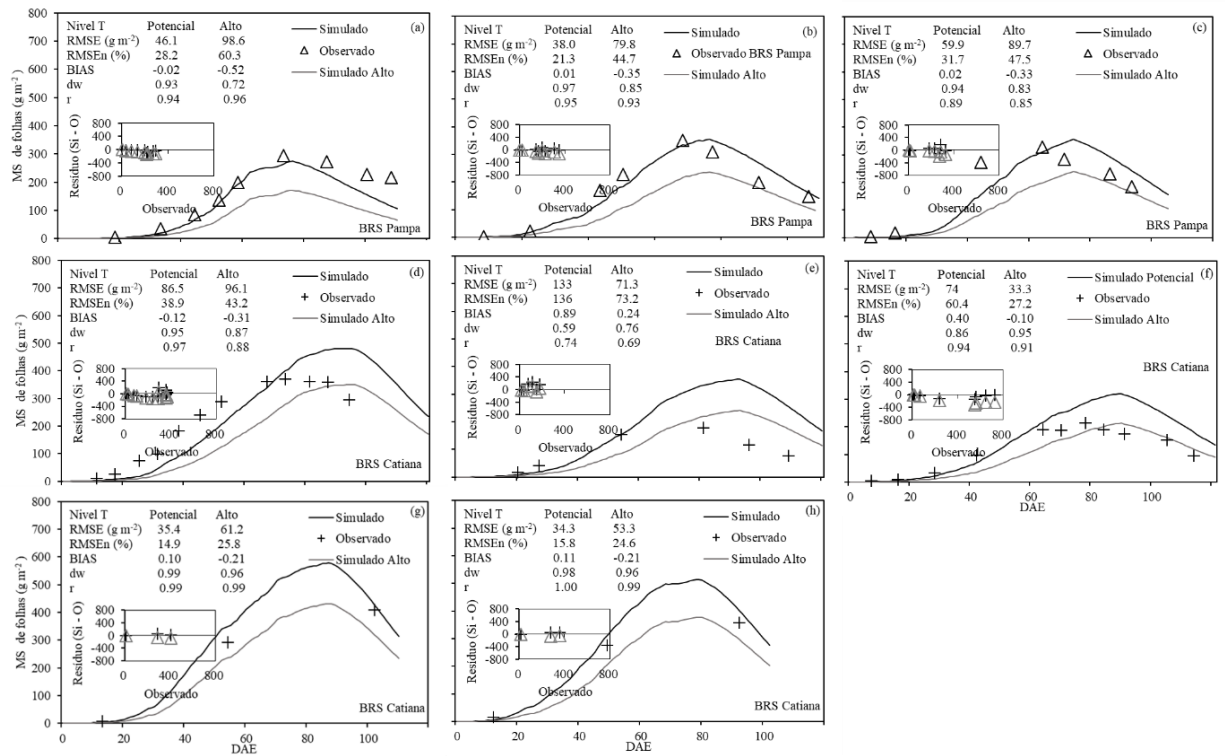


Figura 10 — Massa da matéria seca de folhas (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.

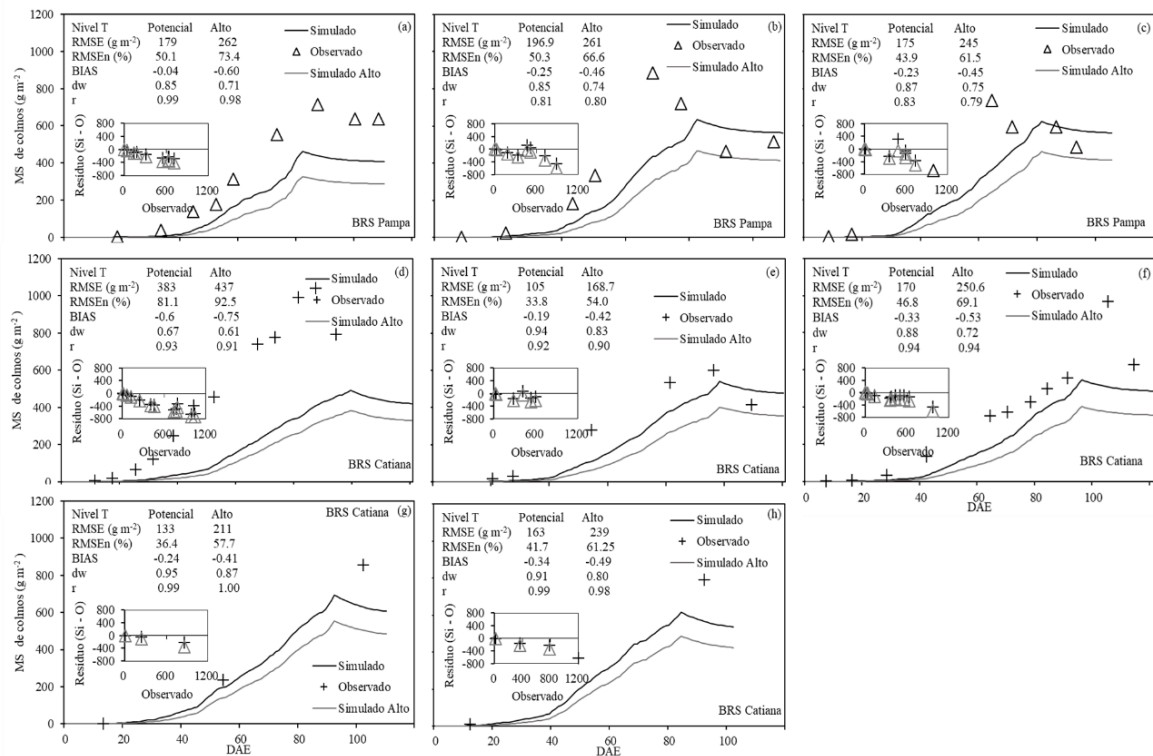


Figura 11 — Massa da matéria seca de colmos (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.

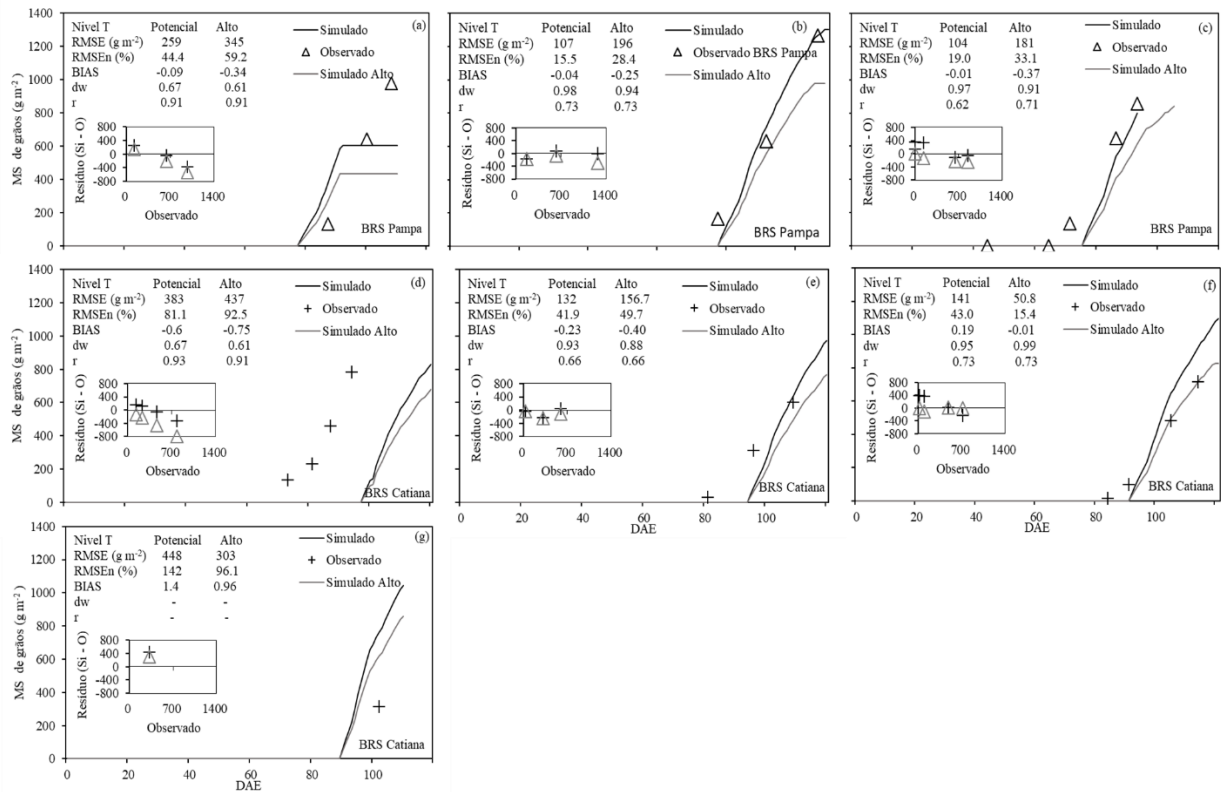


Figura 12 — Massa da matéria seca de grãos (MS) da parte aérea observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis d, e, f) e em Cachoeirinha (painéis g, h). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.

O IAF é um parâmetro ecofisiológico que relaciona a área de folhas verdes e área de superfície do solo (HEIFFIG et al., 2006). Com o IAF é possível estimar a eficiência fotossintética da planta e sua capacidade de interceptar a radiação solar, convertê-la em fotoassimilados e estimar o potencial produtivo da cultura (ZANON et al., 2015). Com os dados observados de produtividade e IAF das 2 cultivares em Cachoeirinha/RS e Goianira/GO, houve a validação dessa relação, indicando que com o aumento de uma unidade de IAF a produtividade aumenta $1.18\ Mg\ ha^{-1}$ até o IAF crítico (Figura 13).

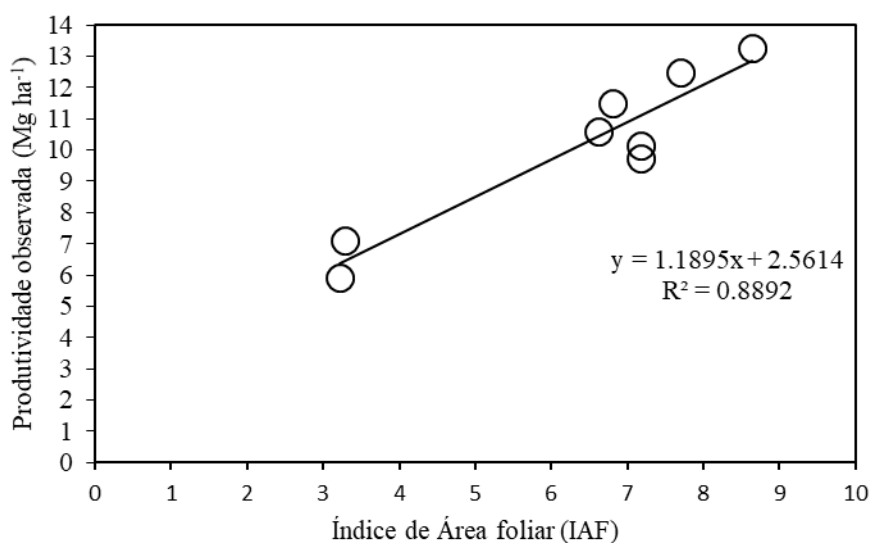


Figura13. Relação entre produtividade de grãos de arroz irrigado (Mg ha^{-1}) e Índice de Área Foliar (IAF) para a cultivar BRS Pampa, em Cachoeirinha/RS e para a cultivar BRS Catiana, em Goianira/GO e em Cachoeirinha nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

As simulações da evolução do IAF nos níveis tecnológicos potencial e alto indicaram melhor desempenho de predição para a cultivar BRS Pampa. Esta cultivar apresentou início de desenvolvimento mais lento, porém atingiu os valores de LAI máxima próximo ao florescimento (R4) após rápida taxa de aumento de folhas (Figura 14). Para a simulação do LAI para a cultivar BRS Catiana em Cachoeirinha/RS, o modelo estimou de forma satisfatória a evolução, porém em Goianira/GO os dados observados foram subestimados em praticamente todos os estádios, principalmente 60 dias após a emergência, havendo grande diferença entre o LAI máximo simulado e observado. Essa diferença ocorre principalmente nos anos agrícolas com menor produtividade simulada e observada (2016/2017 e 2017/2018). De acordo com MEUS et al. (2020), o LAI ótimo para atingir o potencial de produtividade é 7.1.

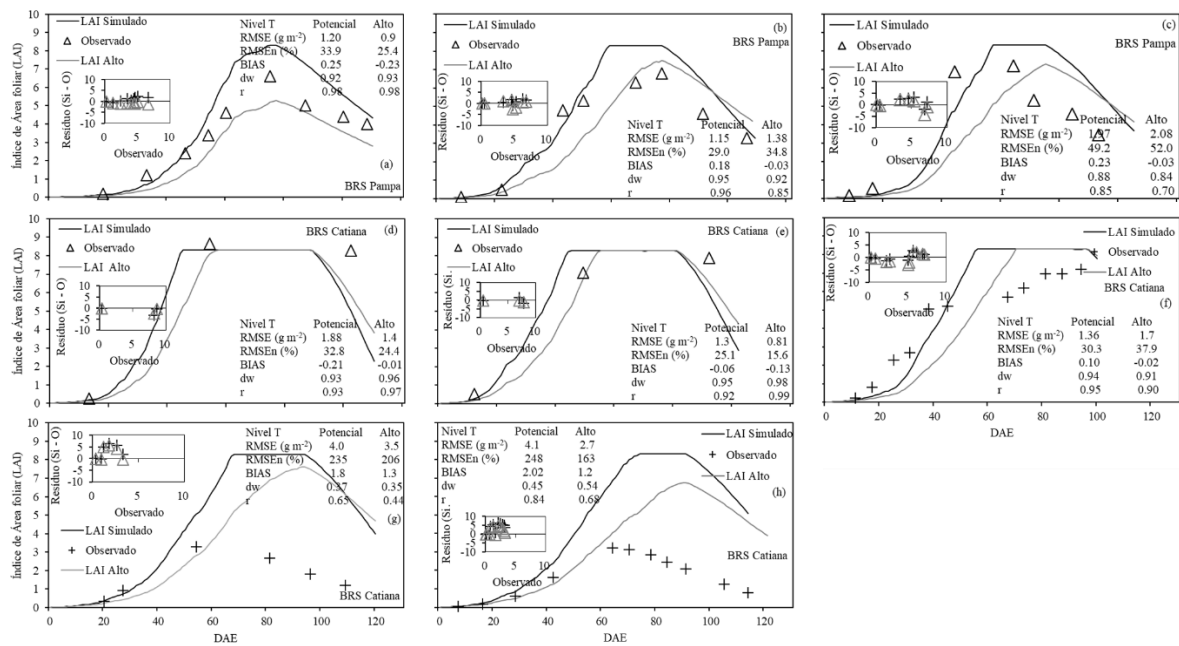


Figura 14 — Índice de área foliar observada (pontos) e simulada com o modelo SimulArroz (linhas contínuas) para a cultivar BRS Pampa em Cachoeirinha/RS (painéis a, b, c) e para a cultivar BRS Catiana em Goianira/GO (painéis f, g, h) e em Cachoeirinha (painéis d, e). Os gráficos inseridos em cada painel são os resíduos (simulado-observado) versus os valores observados e as estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (RMSE, RMSEn, BIAS, dw, r). A linha preta indica a simulação com o modelo SimulArroz na condição potencial e a linha cinza indica a simulação com o modelo SimulArroz no nível tecnológico alto.

Para a avaliação de desempenho do modelo SimulArroz em relação a produtividade (Figura 15), o modelo foi rodado para 4 locais no RS (Alegrete, Cachoeirinha, Capão do Leão e Uruguaiana) utilizando a cultivar BRS Pampa e 2 locais (Cachoeirinha/RS e Goianira/GO) para a cultivar BRS Catiana. O modelo no nível tecnológico potencial, observou-se que o RMSE que variou de 2.5 a 3.0 $Mg\ ha^{-1}$ e RMSEn de 24.01% (BRS Pampa) a 32.38% (BRS Catiana) (Figura 15A). Para as simulações referente ao nível tecnológico alto, observou-se uma melhor representação das produtividades simuladas para observadas com a cultivar BRS Catiana (RMSE de 2.0 $Mg\ ha^{-1}$) e RMSEn de 22.24% (Figura 15B). Na Índia, ARUMUGAM et al. (2020) encontraram RMSEn superiores a 35% da produtividade com o modelo DSSAT. Na China, TANG et al. (2009), indicaram diferenças entre as produtividades observadas e simuladas com os modelos RiceGrow e ORYZA2000, com produtividades que variaram de 0.6 a 9.6 $Mg\ ha^{-1}$ e 5.7 a 10.9 $Mg\ ha^{-1}$. Assim, entende-se que o modelo SimulArroz consegue simular de forma satisfatória a produtividade de grãos.

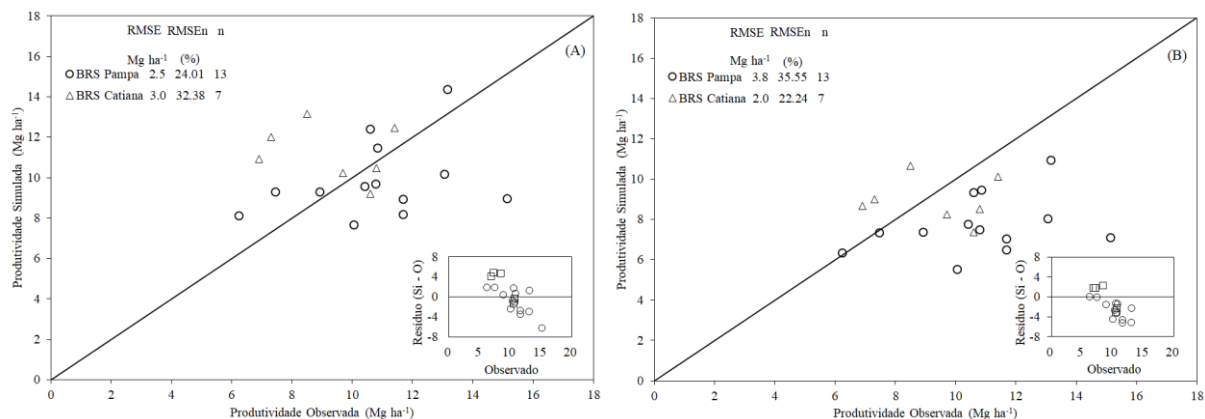


Figura 15 — Produtividade simulada e observada para duas cultivares de arroz (BRS Catiana e BRS Pampa), sendo para Alegrete/RS, Uruguaiana/RS, Capão do Leão/RS, Cachoeirinha/RS utilizando a cultivar BRS Pampa e Cachoeirinha/RS e Goianira/GO para a cultivar BRS Catiana. Os dados observados foram de experimentos em cinco anos agrícolas (2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019). Os dados simulados são no nível potencial (A) e alto (B) do modelo SimulArroz.

As complexas condições de ambiente ressaltam a dificuldade em simular produtividades para regiões distintas com diferentes ciclos de desenvolvimento pelo modelo SimulArroz. Isso ilustra a sua aplicabilidade nas diferentes regiões de produção do arroz irrigado. O incremento no número de cultivares do modelo SimulArroz torna-o ainda mais robusto, juntamente com a avaliação de que o modelo consegue estimar os estágios fenológicos e produtividades de grãos nas condições tropicais, sendo essa uma ferramenta de sem custo com finalidade de auxiliar o produtor, técnico, e extensionista em práticas agrícolas e estimativa de potenciais produtivos na cultura do arroz irrigado. Deve ser salientado que a busca pela calibração de novas cultivares no modelo SimulArroz deve continuar, com atualizações à medida que novas genéticas são lançadas no mercado orizícola no Brasil.

5 CONCLUSÃO

O modelo SimulArroz foi calibrado e avaliado para a simulação de número de folhas no colmo principal, fenologia, matéria seca total da parte aérea e de produtividade para duas novas cultivares. O modelo SimulArroz consegue prever de forma satisfatória o crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos para as cultivares BRS Catiana e BRS Pampa, aumentando a sua área de aplicação, abrangendo também a região Tropical do Brasil.

6 REFERÊNCIAS

ADDISCOTT, T. M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, v. 60, n. 1-4, p. 15-40, 1993.

AGGARWAL, P. K.; KROPFF, M. J.; TUONG T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; TEN BERGE, H. F. M.; VAN LAAR, H. H. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agroecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v. 89, p. 1-25, julho. 2006.

ARUMUGAM, P.; CHEMURA, A.; SCHAUBERGER, B.; GORNOTT, C. Near Real-Time Biophysical Rice (*Oryza sativa* L.) Yield Estimation to Support Crop Insurance Implementation in India. **Agronomy**, 2020, 10, 1674.

BOLDRINI, I. I.; LONGHI-WAGNER, H. M.; BOECHAT, S. C. **Morfologia e taxonomia de gramíneas sul rio-grandenses**. Porto Alegre: UFRGS. 96 p, 2005.

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**, 11, p. 293–300, janeiro. 2007.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S.; TEN BERGE, H. F. M.; VAN LAAR, H. H. **ORYZA 2000**: modeling lowland rice. Version 2.12, november, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 41, de 27 de junho de 2019. [Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2019/2020, conforme anexo]. **Diário Oficial da União**, 5 jul. 2019. Seção 1, p.16-39.

BRITO, G. G.; FAGUNDES, P. R. R.; TELÓ, G. M.; ABREU, A. G.; JÚNIOR, A. M. M.; FRANCO, D. F.; ANDRES, A.; PARFITT, J. M. B.; KUNH, R.; PETRINE, J. A. Impact of supra-optimal temperatures on physiology and yield in rice field. **Journal of Agricultural Science**, v.8, n.2, p.27-37, 2016.

CAPITANI, D. H. D., MIRANDA, S. H. G. de e FERNANDES, E. A. Determinantes da demanda por importação de arroz do Mercosul. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 49 n. 3, p.545-572, 2011.

COELHO, E. F.; DA SILVA, A. J. P. Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2013.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>. Acesso em: 4 Jun. 2021.

COUNCE, P.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, fev. 2000.

DINGKUHN, M., LAZA, M.R.C., KUMAR, U., MENDEZ, K.S., COLLARD, B., JAGADISH, K., SINGH, R.K., PADOLINA, T., MALABAYABAS, M., TORRES, E., REBOLLEDO, M.C., MANNEH, B., SOW, A., 2015. Improving yield potential of tropical rice: achieved levels and perspectives through improved ideotypes. **Field Crops Research**, 182, 43–59, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.025>.

DENG, N., LING, X., SUN, Y., ZHANG, C., FAHAD, S., PENG, S., CUI, K., NIE, L., HUANG, J. Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system. *European Journal of Agronomy*, v. 64, p. 37–46, 2015.

DUARTE JUNIOR, A. J.; STRECK, N. A.; ZANON, A.J.; RIBAS, G.G.; DA SILVA, M.R., CERA, J.C.; NASCIMENTO, M.F.; PILECCO, I.B.; PUNTEL, S. Rice yield potential as a function of sowing date in southern Brazil. *Agronomy Journal*, v. 113, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20610.

ELLIS, R. H.; QI, A.; 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.

FAO. FAOSTAT: Agricultural production. [Database.] **FAO**, Rome. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: 4 Jun. 2021.

FINAMORE, E. B., MONTOYA, M.A. Performance e dimensão econômica do complexo arrozeiro gaúcho, 2006. Disponível em: <http://www.arroz.agr.br/site/artigos/index.php> Acesso em Agosto/2019.

FRUET, B. L.; MEROTTO, J. A.; ULGUIM, A. R. Survey on Rice Weed Management and Public and Private Consultant Characteristics in Southern Brazil. **Weed technology**, v. 34, p. 351-356, 2020.

GAO, L.; JIN, Z.; HUANG, Y.; ZHANG, L. Rice clock model — A computer model to simulate rice development. **Agricultural and Forest Meteorology**, 60, p. 1–16, 1992.

GRASSINI, P., TORRION, J.A., YANG, H.S., REES, J., ANDERSON, D., CASSMAN, K.G., SPECHT, J.E., Soybean yield gaps and water productivity in the Western U.S. Corn Belt. **Field Crops Research**. 179, 150–163, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.04.015.

HAUN, J.R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v.65,p.116-119, 1973. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010035x>.

HEIFFIG, L. S., CÂMARA, G. M. D. S., MARQUES, L. A., PEDROSO, D. B., & PIEDADE, S. M. D. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, p. 285-295, 2006.

HEINEMANN, A. B., STONE, L. F. E SILVA, S. C. (2009). Arroz. In J. E. B. A. Monteiro (Ed.), **Agrometeorologia dos cultivos - o fator meteorológico na produção agrícola** (p. 65-79). Brasília: INMET.

INFELD, J. A., SILVA, J. B.; ASSIS, F. N. Temperatura base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 2, p. 187-191, 1998.

IRGA – Instituto Rio-Grandense do Arroz. **IRGA**: Site institucional . Porto Alegre, 2020. Disponível em <http://irga.rs.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2021.

JANSSEN, P. H. M., HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling*, **Amsterdam**, v. 83, n. 1, p. 55-56, 1995.

KINIRY, J. R., MCCAULEY, G., XIE, Y., and ARNOLD, J. G. (2001). Rice parameters describing crop performance of four U. S. cultivars. **Agronomy. Journal**. v.93, p.1.354-1.361, 2001.

KROPFF, M. J.; VAN LAAR, H. H.; MATTHEWS, R. B. ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. In: **SARP Research Proceedings**. Los Banos, Philippines: **International Rice Research Institute – IRRI**, 1994. 110 p.

LAGO, I. **Desenvolvimento do arroz e do arroz vermelho: modelagem e resposta à mudança climática**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

L'HEUREUX, M. What is the El Niño – Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell? National 6 Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2014.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JUNIOR, S. A. Volume de água usado na lavoura de arroz em função das épocas de início de irrigação por inundação. In: IV Congresso brasileiro de arroz irrigado e XXVI Reunião da cultura do arroz irrigado, Santa Maria, RS. Anais... Santa Maria, Editora Órium. V1. P.365-367, 2005.

MARTINS, R. T., MOURA, D. D. S., de MORAES, I. L., DEUNER, S., & de BRITO, G. G. Alterações morfofisiológicas do arroz irrigado cultivado sob diferentes regimes térmicos. In: **Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 6, 2016, Pelotas. Ciência: Empreendedorismo e inovação: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2016., 2016.

MATTHEWS, R.B., KROPFF, M.J., HORIE, T., BACHELET, D. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. **Agricultural. Systems**. 54, 399–425.1997.

MENEZES, C. T. Avaliação de estações climáticas virtuais e do modelo ORYZAv3 para a região de arroz tropical irrigado. 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

MEUS, L. D.; SILVA, M. R. da; RIBAS, G. G.; ZANON, A. J.; ROSSATO, I. G.; PEREIRA, V. F.; PILECCO, I. B.; RIBEIRO, B. S. M. R.; SOUZA, P. M. de; NASCIMENTO, M. de F. do; POERSCH, A. H.; DUARTE JUNIOR, A. J.; QUINTERO, C. E.; GARRIDO, G. C.; CARMONA, L. de C.; SRECK, N. A. **Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades**. Santa Maria: [s.n.], 2020.

MONGIANO, G.; TITONE, P.; TAMBORINI, L.; PILU, R.; BREGAGLIO, S. Advancing crop modelling capabilities through cultivar-specific parameters sets for the Italian rice germplasm. **Field Crops Research**, v.240, p.44-54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.012>.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W. J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p. 476-488 , 1992.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Brasília, EMBRAPA, 1997, 44p.

RANGEL, P. H. N.; TORGA, P. P.; FRAGOSO, D. B.; FILHO, J. M. C.; CORDEIRO, A. C. C.; PEREIRA, J. A.; LOBO, V. L. S.; LACERDA, M. C.; CUSTÓDIO, D. P.; JÚNIOR, A. M. M.; ABREU, A. G.; SANTIAGO, C. M.; SANTOS, B. M. BRS Catiana: irrigated rice cultivar with high yield potential and wide adaptation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 368-372 , 2019.

RAY, D. K. GERBER, J.S., MACDONALD, G.K., WEST, P.C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2015.

RIBAS, G.G.; STRECK, N.A.; LAGO, I.; ZANON, A.J.; WALDOW, D.A.G.; DUARTE JUNIOR, A.J.; NASCIMENTO, M. de F. do; FONTANA, V. Acúmulo de matéria seca e produtividade em híbridos de arroz irrigado simulados com o modelo SimulArroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1907-1917, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200001>.

RIBAS, G.G.; STRECK, N.A.; DUARTE JUNIOR, A.J.; NASCIMENTO, M.F. do; ZANON, A.J.; SILVA, M.R. da. Number of leaves and phenology of rice hybrids simulated by the SimulArroz model. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.221-226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p221-226>.

RIBAS, G.G.; STRECK, N.A.; DUARTE JUNIOR, A.J.; RIBEIRO, B.S.M.R.; PILECCO, I.B.; ROSSATO, I.G.; RICHTER, G.L.; BEXAIRA, K.P.; PEREIRA, V.F.; ZANON, A.J. An update of new flood-irrigated rice cultivars in the SimulArroz model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, e00865, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.00865>

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M.. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. p. 1-7. 2018.

RICHTER, G.L.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; ULGUIM, A. da R.; KRUSE, N.D.; SANTOS, G.A. de A. dos; CERA, J.C.; RIBAS, G.G.; DUARTE JUNIOR, A.J.; PILECCO, I.B. Introducing rice yield loss caused by weed competition into the SimulArroz model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, e01418, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01418>

ROSA, H. T., WALTER, L. C., STRECK, N. A., CARLI, C. D., RIBAS, G. G., & MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, 1159-1165, 2015.

ROTTER, R.P., PALOSUO, T., KERSEBAUM, K.C., ANGULO, C., BINDI, M., EWERT, F., FERRISE, R., HLAVINKA, P., MORIONDO, M., NENDEL, C.. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. **Field Crop. Res.** 133, 23-36. 2012.

SAMBORANHA, 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.

SARTORI, G. M. S., MARCHESAN, E., AZEVEDO, C. F., STRECK, N. A., ROSO, R., COELHO, L. L., & OLIVEIRA, M. L. D. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 397-403, 2013.

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.

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.

SILVA, M. R. D., STRECK, N. A., FERRAZ, S. E. T., RIBAS, G. G., DUARTE, A. J., NASCIMENTO, M. D. F. D., & MACHADO, G. A. Modelagem numérica para previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 791-800. 2016.

SINGH, U.; RITCHIE, J. T.; GODWIN, D. C. **A Users Guide to CERES Rice v 2.10.:** simulation manual. Muscle Shoals, AL, USA: International Fertilizer Development Center, 1993.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DO ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2018, Bento Gonçalves. Available at: . Access on: 04 Jun., 2019.

SOLTANI, A.; ZEINALI, E.; GALESHI, S.; NIARI, N. Simulating GFDL predicted climate change impacts on rice cropping in Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehrân, v.3, p.81-90, 2001.

SOUZA L. F. Aplicação do modelo ORYZA-DSSAT para estimativa da produtividade de arroz de terras altas como subsídio ao zoneamento de risco climático no Estado de Goiás, Brasil. Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, (2013).

SOUZA, Â. R. L. D., REVILLION, J. P. P., WAQUIL, P. D., BELARMINO, L. C., & LANFRANCO, B. A.. Economic and accounting evaluation of rice milled production chains in Rio Grande do Sul (Brazil) and Uruguay with application of the policy analysis matrix. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, 2017.

STEINMETZ, S., ASSIS, F. N., BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., DIDONÉ, I. A., OLIVEIRA, H. T. e SIMONETI, C. (2001). Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz em distintas regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**, 4, 63-77.

STEINMETZ, S.; FAGUNDES, P. R. R.; MAGALHAES JUNIOR, A. M. de; SCIVITTARO, W. B.; DEIBLER, A. N. Determinação dos graus-dia e do número de dias para atingir o estágio de diferenciação da panícula de cultivares de arroz irrigado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 30 (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 88).

STEINMETZ, S.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R. de; STRECK, N.; ZANON, A. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. da; BENEDETTI, R.; CERA, J. C.; SILVA, S. C. da; HEINEMANN, A. B. Períodos de semeadura para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul com base na estimativa de produtividade de grãos e em níveis de risco climático. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 57 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 472).

STEINMETZ, S.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R. de; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. da; BENEDETTI, R. P.; CERA, J. C.; SILVA, S. C. da; HEINEMANN, A. B. Irrigated rice sowing periods based on simulated grain yield. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 377-386, dez. 2019.

STEINMETZ, S.; PEREIRA, C. B.; SANTOS, E. L. dos; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R. de; STRECK, N. A.; BENEDETTI, R. P.; DUARTE JÚNIOR, A. J.; ZANON, A. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. DA; KROEFF, R. M.; PRESTES, S. D. PlanejArroz: aplicativo para o planejamento do manejo e estimativa da produtividade em arroz irrigado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 205). ODS 2.

STEINMETZ, S.; PEREIRA, C. B.; SANTOS, E. L. dos; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R. de; STRECK, N. A.; BENEDETTI, R. P.; DUARTE JÚNIOR, A. J.; ZANON, A. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. DA; KROEFF, R. M.; PRESTES, S. D. Fundamentals and applications of PlanejArroz, a software for irrigated rice management and yield estimation. **Agrometeoros**, v. 29, e026847, 2021.

STRECK, N. A.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S.; XUE, Q. Incorporating a chronology response function into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, 92, p. 181-190, outubro. 2003.

STRECK, N. A., BOSCO, L. C., MICHELON, S., WALTER, L. C., & MARCOLIN, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1086-1093, 2006.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance of some Brazilian wheat genotypes. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, p.1-9, 2007.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, v.100, p.490-501, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0156>.

STRECK, N. A., LAGO, I., OLIVEIRA, F. B., HELDWEIN, A. B., DE AVILA, L. A., & BOSCO, L. C. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. **Transactions of the ASABE**, v.54, p.371-384, 2011.

STRECK, N. A.; CHARÃO, A. S.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; BENEDETTI, R. P.; MARCHESAN, E.; SILVA, M. R. SimulArroz: Um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2013. p. 1618-1627.

SUN, X., RENARD, B., THYER, M., WESTRA, S., & LANG, M.. A global analysis of the asymmetric effect of ENSO on extreme precipitation. **16 Journal of Hydrology**, v. 530, p. 51-65, nov. 2015.

TANG, L.; ZHU, Y.; HANNAWAY, D.; MENG, Y.; LIU, L.; CHEN, L.; CAO, W. RiceGrow: a rice growth and productivity model. **Wageningen Journal of Life Sciences**, v.57, p.83-92, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2009.12.003>.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production, Supply and Distribution Online. Online. Disponível na Internet: http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=DATA_STATISTICS. (Acesso 20 de maio, 2021).

UTUMI, M. M.; SILVA-LOBO, V. L.; MELLO, R. N.; FURTINI, I. V. Melhoramento do arroz e a segurança alimentar. Artigo/ Embrapa Arroz e Feijão, 2016.

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**, 32, p. 510-521, maio-junho. 2012.

WANG, L., DENG, F., & REN, W. J.. Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. **Field Crops Research**, v. 180, p. 54-62, 2015.

YANG, L., & WANG, Y. Impact of climate change on rice grain quality. **Rice**, 427-441. 2019.

YOSHIDA, S. (1981). Fundamentals of rice crop science. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.

ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; RICHTER, G.L.; BECKER, C.C.; ROCHA, T.S.M. da; CERA, J.C.; WINCK, J.E.M.; CARDOSO, A.P.; TAGLIAPIETRA, E.L.; WEBER, P.S. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia**, v.74, p.279-290, 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0463.