

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN

VALIDAÇÃO DO MODELO CERES-RICE PARA A CULTIVAR IRGA 424

Alegrete

2017

WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN

VALIDAÇÃO DO MODELO CERES-RICE PARA A CULTIVAR IRGA 424

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Orientador:

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

Alegrete

2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D636v Dockhorn, Wendler de Almeida
VALIDAÇÃO DO MODELO CERES-RICE PARA A CULTIVAR IRGA 424 /
Wendler de Almeida Dockhorn.
65 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM ENGENHARIAS, 2017.
"Orientação: Virnei Silva Moreira".

1. modelagem. I. Título.

WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN

VALIDAÇÃO DO MODELO CERES-RICE PARA A CULTIVAR IRGA 424

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia da Universidade Federal do Pampa, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Fenômenos de transporte

Dissertação defendida e aprovada em 27 de outubro de 2017.



Prof. Dr. Virnei Silva Moreira
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Alexandre Russini
UNIPAMPA



Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
UNIPAMPA

RESUMO

O CERES-Rice é um modelo que simula o desenvolvimento e produtividade de uma cultivar, para realizar tal feito, é necessário obter os coeficientes genéticos da cultivar, através do processo de calibração. Os coeficientes genéticos descrevem o comportamento da planta no sistema solo-planta-atmosfera. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi calibrar e validar o modelo CERES-Rice, presente na plataforma DSSAT, em relação à estimativa de produtividade para a cultivar IRGA 424 no Rio Grande do Sul, utilizando apenas informações encontradas na literatura. O trabalho também visa o desenvolvimento de um algoritmo para auxiliar na formatação dos dados meteorológicos, a comparação do resultado obtido através modelo CERES-Rice com o estimado pelo SimulArroz e também avaliar a resposta obtida pelo modelo CERES-Rice ao estimar a data de florescimento. Após a aplicação do algoritmo, os dados meteorológicos para uso no DSSAT e SimulArroz foram exportados com sucesso. Apesar de não ter sido implementado nenhum recurso extra, o método utilizado proporciona a possibilidade de novas funções, como por exemplo, técnicas de preenchimento de dados. Para o processo de calibração dos coeficientes genéticos, foi utilizado o módulo GENCALC, também incluso no DSSAT. Após o processo de calibração, foi realizada a validação nos demais. Os resultados para produtividade foram considerados aceitáveis, uma vez que maior parte dos valores encontravam-se abaixo de 15%, apenas um dos resultados apresentou erro de 16,88%. Os valores simulados pelo modelo CERES-Rice apresentou um erro menor que o SimulArroz. Entretanto, a análise estatística aponta que ambos os resultados foram considerados bons. Apesar disso, o trabalho não aconselha a substituição do uso do modelo SimulArroz nas simulações do Rio Grande do Sul, mas propõe uma análise no modelo CERES-Rice, para averiguar a possibilidade de incorporar partes do seu código fonte no modelo SimulArroz, assim como também há o do ORYZA2000 e InfoCrop. O resultado da simulação obteve valores em dias após a semeadura inferiores ao dos valores experimentais, com uma média de 23 dias para os dados de Cachoeirinha e 25 para os de Uruguaiana. Esse resultado com os coeficientes genéticos utilizados no presente trabalho, o modelo não foi capaz de estimar a data de florescimento dentro dos limites aceitáveis, sendo necessário realizar um novo ajuste de coeficientes.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, DSSAT, coeficientes genéticos.

ABSTRACT

CERES-Rice is a model that simulates the development and productivity of a cultivar. To achieve this, it is necessary to obtain the genetic coefficients of the cultivar through the calibration process. The genetic coefficients describe the behavior of the plant in the soil-plant-atmosphere system. The goal of the present work was to calibrate and validate the CERES-Rice model, included in the DSSAT platform, to estimate the productivity for the cultivar IRGA 424 in Rio Grande do Sul, using only information found in the literature. The work also aims to develop an algorithm to aid in the formatting of meteorological data, the comparison of the result obtained through the CERES-Rice model with that estimated by SimulArroz and also to evaluate the response obtained by the CERES-Rice model when estimating the date of flowering. After the application of the algorithm, the meteorological data for use in the DSSAT and SimulArroz were exported successfully. Although no extra features have been implemented, the method used provides the possibility of include new functions, such as data-filling techniques. For the calibration process of the genetic coefficients, the GENCALC module was used, also included in the DSSAT. After the calibration process, the other validations were performed. The results for productivity were considered acceptable, since most of the values were below 15%, only one of the results showed an error of 16,88%. The values found by the CERES-Rice model obtained a smaller error than the SimulArroz. However, the statistical analysis indicates that both results were considered good. Despite this, the paper does not recommend replacing the SimulArroz model in the simulations of Rio Grande do Sul, but proposes an analysis in the CERES-Rice model, to investigate the possibility of incorporating parts of its source code into the SimulArroz model, as well as there are from ORYZA2000 and InfoCrop. The results of the simulation obtained values in days after sowing inferior to those of the experimental values, with a mean of 23 days for the data of Cachoeirinha and 25 for those of Uruguaiana. This result with the genetic coefficients used in the present study, the model was not able to estimate the date of flowering within the acceptable limits, being necessary to perform a new adjustment of coefficients.

Keywords: *Oryza sativa*, DSSAT, genetic coefficients.

LISTA DE SIGLAS

CERES	<i>Crop estimation through resources and environment synthesis</i>
DSSAT	<i>Decision Support System for Agrotechnology Transfer</i>
FILEC	<i>Cultivar data file</i>
FILEP	<i>Experiment performance file</i>
FILES	<i>Soil data files</i>
FILEW	<i>Weather data file</i>
FILEX	<i>Experiment details file</i>
GDD	Graus-dia de Desenvolvimento
GENCALC	<i>Genotype Coefficient Calculator</i>
IBSNAT	<i>International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
REQMN	Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado
SOSBAI	Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado

LISTA DE SÍMBOLOS

B_T	biomassa total
CARBO	produção diária de biomassa
d	duração do crescimento
g	taxa média de crescimento
G_1	Coefficiente do número de panícula
G_2	Massa de um único grão
G_3	Coefficiente de perfilhamento
G_4	Coefficiente de tolerância de temperatura
IPAR	fração de PAR interceptado pelas plantas
k	coeficiente de extinção luminosa
LAI	índice de área foliar
NDEF1	déficit de nitrogênio
O	valor observado a campo
P	valor previsto pelo modelo
P_1	Coefficiente da fase juvenil
P_{2O}	Fotoperíodo crítico
P_{2R}	Coefficiente do fotoperiodismo
P_5	Coefficiente de duração do preenchimento do grão
PAR	radiação fotossinteticamente ativa
PCARB	produção potencial de biomassa
PLANTS	população de plantas
PRFT	fator de redução de temperatura
RUE	eficiência do uso da radiação solar
SWDF1	déficit de água
T_c	constante empírica de ajuste
T_o	temperatura ótima para fotossíntese
TDAY	temperatura diurna
TMAX	temperatura máxima diária
TMIN	temperatura mínima diária

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tela inicial da plataforma DSSAT	14
Figura 2 – Diagrama da relação entre banco de dados, softwares de suporte e suas aplicações com os modelos para aplicações no DSSAT	15
Figura 3 – Dados da estação meteorológica de Porto Alegre em planilha eletrônica . . .	27
Figura 4 – Fluxograma do funcionamento script.	28
Figura 5 – Tela inicial do <i>software</i> SimulArroz	32
Figura 6 – Exemplo de saída do algoritmo	33
Figura 7 – Saída de dados para uso no DSSAT	34
Figura 8 – Saída de dados para uso no SimulArroz	35
Figura 9 – Comparação entre os valores observados e simulados.	37
Figura 10 – Gráfico dos valores observado por valores estimados para os dois modelos utilizados	38
Figura 11 – Data da floração em dias após a semeadura (DAS) de acordo com cada época	39
Figura 12 – Temperatura máxima e mínima durante o período dos experimentos.	56
Figura 13 – Radiação solar durante o período dos experimentos	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diversas aplicações do DSSAT e referências dos exemplos que descrevem as aplicações em detalhe, organizadas por continente no qual o estudo foi realizado.	16
Tabela 2 – Descrição dos coeficientes genéticos	25
Tabela 3 – Trabalhos utilizados como fonte dos dados de entrada para o modelo.	30
Tabela 4 – Datas de semeadura, emergência e florescimento nas localidades de Cachoeirinha e Uruguaiana para oito datas de semeadura, safra 2008/09. Adaptado de (MARIOT et al., 2009)	31
Tabela 5 – Valores de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e radiação solar diária média no período simulado para cada experimento.	35
Tabela 6 – Coeficientes genéticos para a cultivar IRGA 424 ajustados para as condições agroclimáticas do Rio Grande do Sul.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO	14
2.1	DSSAT	14
2.1.1	O modelo CERES-Rice	20
2.1.2	Arquivos entrada	23
2.1.3	Arquivos saída	24
2.2	Coefficientes genéticos	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	Desenvolvimento do algoritmo de formatação dos dados meteorológicos	27
3.2	Descrição dos experimentos utilizados para o ajuste	29
3.3	GENCALC	29
3.4	Avaliação da resposta na estimativa da data de florescimento	30
3.5	SimulArroz	31
3.6	Análise estatística	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	Preparação dos dados meteorológicos	33
4.2	Calibração dos coeficientes genéticos	36
4.3	Comparação com o resultado obtido pelo SimulArroz	38
4.4	Validação para data de florescimento	39
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DIÁRIA DURANTE O PERÍODO SIMULADO DOS EXPERIMENTOS	56
	APÊNDICE B – RADIAÇÃO SOLAR DURANTE O PERÍODO DOS EXPERIMENTOS COM A CULTIVAR IRGA424	61

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI), os níveis de produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul estão entre os mais altos do Brasil, apesar disso, em alguns anos, ocorrem decréscimos de produtividade devidos a condições meteorológicas adversas. A ocorrência de baixas temperaturas e de baixa disponibilidade de radiação solar durante as fases críticas da planta são fatores que estão muito relacionados com as quedas de produtividade. Entretanto, adotando técnicas de manejo e realizando uma boa escolha da cultivar e data de semeadura é possível reduzir o prejuízo.

A maior disponibilidade de radiação solar, principalmente durante a fase reprodutiva da cultura até o enchimento de grãos, é fundamental para obtenção de altos rendimentos (YOSHIDA; PARAO, 1976). A exigência de radiação solar pela cultura do arroz varia de uma fase fenológica para a outra, sendo a fase reprodutiva a mais exigente. Nessa fase, os subperíodos mais importantes são os compreendidos entre a diferenciação da panícula e a floração, influenciando o número de grãos por panícula, e entre a floração e a maturação, influenciando o peso de grãos. Em relação a temperatura, dependendo da cultivar, do estado nutricional, sistema de cultivo e duração do período de frio, temperaturas inferiores a 20°C já são consideradas prejudiciais ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas de arroz. A literatura relata como críticas temperaturas entre 15°C e 17°C, para os genótipos resistentes ou tolerantes, e de 17°C a 19°C, no caso dos suscetíveis (SOSBAI, 2016).

A fim de realizar o planejamento de ações futuras, visando o aumento da produtividade e da obtenção de lucros, existem diversos modelos que buscam simular fenômenos naturais, que auxiliam o planejamento, sendo a modelagem agrometeorológica um exemplo da aplicação desse conhecimento. A produtividade de culturas envolve uma interação complexa entre o solo, planta e atmosfera, além das técnicas de manejo. Nesse contexto, os dados obtidos por meio de experimentos permitem a criação de modelos que simulam o crescimento, desenvolvimento e produtividade como uma função da dinâmica solo-planta-atmosfera (SASEENDRAN et al., 1998).

No Brasil, entre os modelos de simulação do desenvolvimento, crescimento e produtividade de grãos de arroz o SimulArroz é capaz de simular a produtividade de grãos e sua variação nas diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul com precisão média superior a 70%. O desenvolvimento do modelo foi baseado a partir do modelo InfoCrop (AGGARWAL et al., 2006) e do modelo ORYZA2000 (BOUMAN; LAAR, 2006), entre outros aprimoramentos para

o funcionamento no estado do Rio Grande do Sul (ROSA et al., 2015). Entretanto, o modelo CERES-Rice tem apresentado boa performance em diversos trabalhos no mundo (AHMAD et al., 2013; AKINBILE, 2013; AMGAIN; TIMSINA; BIJAY-SINGH, 2008; MAHMOOD; LEGATES; MEO, 2004; MAHMOOD et al., 2003; SASEENDRAN et al., 1998; SHARMA; KUMAR, 2005; TIMSINA; HUMPHREYS, 2006; VIJAYALAXMI, 2014).

A quantidade de informação necessária para tomada de decisão na agricultura está crescendo rapidamente devido ao aumento da demanda por produtos agrícolas ao mesmo tempo que aumenta os custos de produção e a pressão em relação à conservação de solo, água e outros recursos naturais. A aplicação na prática da grande quantidade de novos dados obtidos por meio de pesquisas agronômicas e sua publicação não supre a necessidade agrícola. Os métodos tradicionais utilizados nos experimentos agrícolas são conduzidos em pontos específicos no tempo e espaço, obtendo resultados particulares para as condições em que foi realizado, consumindo tempo e recursos financeiros (JONES et al., 2003; TAO et al., 2008).

Com o intuito de resolver esse problema, surgiram os modelos *crop estimation through resources and environment synthesis* (CERES), que foram o resultado de uma tentativa de produzir um modelo de simulação geral para várias culturas. Os modelos simulam a performance de uma cultivar em particular, semeada em qualquer época em qualquer clima, o que leva a transferência de informação tecnológica. Esses modelos ajudaram a alcançar seu objetivo, definindo um conjunto mínimo de dados de solo, meteorológicos, manejo e informação genética, que poderiam ser coletados em praticamente todo experimento de campo. Com isso, criou-se uma ferramenta que pode ser utilizada para explicar os resultados obtidos a campo e assim, transferir o conhecimento além do local e ano do experimento (SASEENDRAN et al., 1998; JONES et al., 2003).

No Brasil, Cuadra, Steinmetz e Heineman (2015) calibraram os coeficientes genéticos e validaram o modelo CERES-Rice para quatro cultivares com ciclo de desenvolvimento distintos, entre os principais grupos de maturação (Muito Precoce, Precoce, Médio I e Médio II). Os dados foram coletados em cinco safras agrícolas, de 2004/05 a 2008/09, para as cultivares BRS ATALANTA, muito precoce, de 101 a 105 dias; BRS QUERÊNCIA, precoce, de 106 a 110 dias; BR-IRGA410, médio I, de 121 a 130 dias e BRS 7 TAIM, médio II, de 131 a 135 dias (STEINMETZ et al., 2014). Constatou-se que o modelo simulou coerentemente as médias de produtividade e também a tendência de decréscimo para semeaduras tardias, tendo como principal exceção, a cultivar BRS Querência, no qual o modelo apresentou inflexão da curva de resposta oposta à observada.

Segundo Hunt et al. (1993), a capacidade dos modelos CERES de trabalhar com genótipos específicos foi alcançada incorporando um arquivo de coeficientes que descrevem a resposta de um determinado genótipo aos elementos climáticos, como temperatura máxima e mínima, duração do dia, solo, água e disponibilidade de nitrogênio, ou características de certos aspectos do ciclo de vida da morfologia da cultivar. Esses coeficientes foram chamados de coeficientes genéticos, para cada nova cultivar inserida é necessário calibrar os coeficientes, para utilizar o modelo CERES-Rice.

Portanto, a capacidade de simular o desenvolvimento facilita a escolha das cultivares para a semeadura, sendo possível estimar o que pode acontecer caso o produtor queira utilizar uma nova variedade de arroz, mudar a data de semeadura ou utilizar uma nova técnica de manejo, onde as respostas podem ser obtidas simulando cada estratégia no prazo desejado. As respostas podem ser apresentadas como um conjunto de distribuições de probabilidade, médias e variâncias de produtividade e outras saídas obtidas pelo modelo CERES-Rice (JINTRAWET, 1995). A habilidade de prever os estágios fenológicos em diferentes cenários, utilizando coeficientes específicos para cada cultivar, de forma que expressem a sua resposta em locais e épocas distintas, deve fornecer um método mais rápido para determinar quais cultivares devem estar mais adaptadas e os riscos associados com a sua produção (RITCHIE et al., 1998)

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho é calibrar os coeficientes genéticos para a cultivar IRGA 424 e validar o modelo CERES-Rice para a estimativa da produtividade de grãos nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, a partir de dados obtidos na literatura.

Os objetivos específicos do trabalho são:

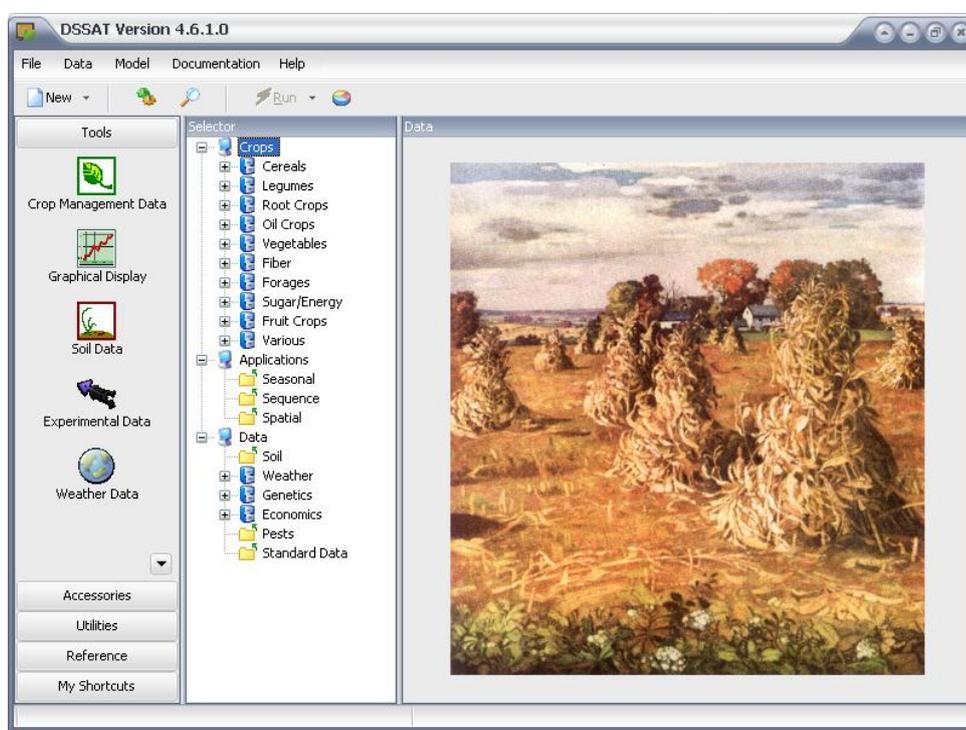
- Desenvolvimento de um algoritmo para a formatação dos dados meteorológicos fornecidos pelo INMET, visando a aplicação no modelo desejado de forma automática.
- Desenvolver um método para aplicar os dados meteorológicos fornecidos pelo INMET no modelo desejado.
- Avaliar a resposta do modelo CERES-Rice para estimativa da data de florescimento.
- Comparar os resultados obtidos pelo modelo CERES-Rice com os dados observados com o modelo SimulArroz.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 DSSAT

O *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) destaca-se como uma das principais plataformas de modelagem de culturas agrícolaE, contém modelos de simulação de mais de 28 culturas, em uso no Brasil e no mundo (CUADRA; STEINMETZ; HEINEMAN, 2015). O DSSAT foi inicialmente desenvolvido pela *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer* (IBSNAT), para facilitar a aplicação de modelos agrometeorológicos para pesquisa (TSUJI; UEHARA; BALAS, 1994; TSUJI, 1998).

Figura 1 – Tela inicial da plataforma DSSAT



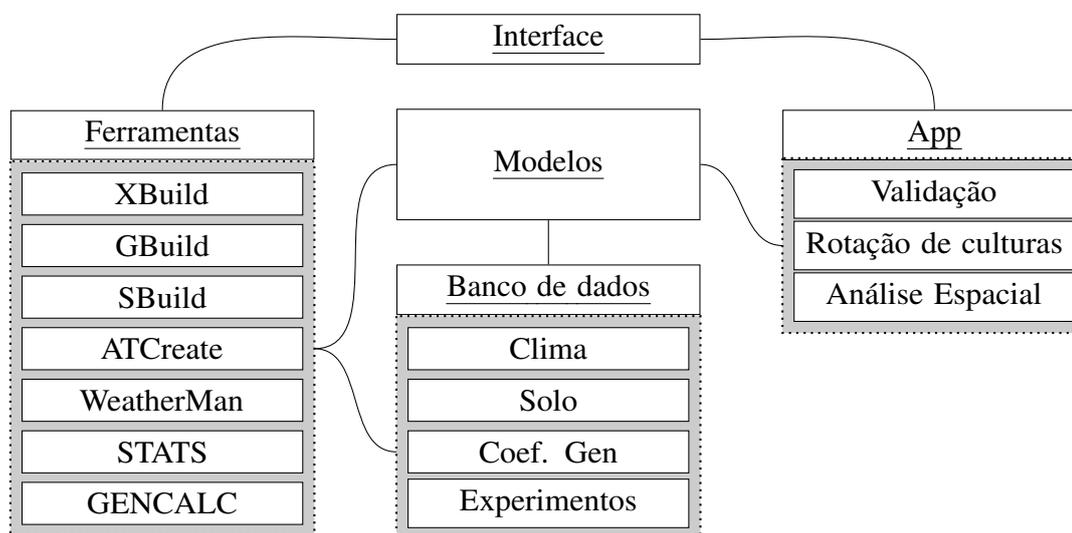
Fonte – O Autor (2017)

O seu desenvolvimento foi motivado pela necessidade de integrar conhecimento sobre solo, clima, cultivar e manejo para facilitar o processo de decisão e transferir tecnologias, de um local para outro onde o solo e clima são diferentes. Desse modo, auxilia a tomada de decisão reduzindo tempo e recursos humanos necessários para analisar complexas alternativas e proporcionar uma plataforma científica de cooperação através da pesquisa para integrar o conhecimento e aplicá-lo em problemas (TIMSINA; HUMPHREYS, 2006; JONES, 1993; TSUJI; BALAS, 1993).

A plataforma é composta por um grupo de módulos independentes que operam em

conjunto (Figura 2). No centro do funcionamento estão os modelos agrometeorológicos, também possui um bancos de dados contendo informações climáticas, de solo, condições do experimento e medidas obtidas a campo, além de informações genéticas para aplicar o modelo em diferentes situação. O *software* auxilia usuários a preparar essas informações e comparar resultados simulados com experimentais, proporcionando confiança nos modelos ou determinando se modificações são necessárias para melhorar a sua acurácia (UEHARA, 1989). Além disso, módulos presentes no DSSAT permitem que usuários simulem diversas opções de manejo a um número de anos para avaliar riscos associados com cada opção (JONES et al., 2003).

Figura 2 – Diagrama da relação entre banco de dados, softwares de suporte e suas aplicações com os modelos para aplicações no DSSAT



O sistema simula o crescimento da cultivar, desenvolvimento e rendimento de grãos considerando os efeitos do clima, manejo e genética. Os modelos são continuamente aprimorados e modificados, sendo que as novas versões a partir da 4.0 se distinguem das versões com grandes mudanças na integração de processos, no formato em módulos e a interface do usuário (PORTER et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2004). Essa abordagem proporciona uma plataforma na qual a pesquisa é conduzida para entender como o sistema e seus componentes funcionam. Esse entendimento é então integrado nos modelos que permitem prever o comportamento do sistema em determinada condição (JONES et al., 2003).

Antes do desenvolvimento do DSSAT, os modelos presentes na primeira versão estavam disponíveis, mas eram utilizados predominantemente nos laboratórios onde foram criados. Por exemplo, os primeiros modelos incluídos no DSSAT, os modelos CERES para milho (JONES;

KINIRY; DYKE, 1986) e trigo (RITCHIE; GODWIN; OTTER-NACKE, 1985), o modelo SOY-GRO para soja (WILKERSON et al., 1983) e o modelo PNUTGRO para amendoim (BOOTE; JONES; SINGH, 1986) já estavam obtendo sucesso. Esses modelos necessitavam de diferentes arquivos e estrutura de dados e tinham diversos modos de operação. Motivado pelo objetivo do projeto do *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer* (IBSNAT) de proporcionar uma plataforma para análise de sistemas de cultivo, esses modelos tiveram que ser revisados para se tornarem compatíveis, independentemente da entrada de dados e os modos de aplicação. A decisão de tornar os modelos compatíveis levou ao desenvolvimento do DSSAT e posteriormente, ao desenvolvimento de culturas adicionais, como batata, arroz, feijão, girassol e cana de açúcar (HOOGENBOOM et al., 2004).

Além de simular o desenvolvimento de uma cultura, a plataforma DSSAT é amplamente utilizada para diversas aplicações, como por exemplo, agricultura de precisão e simulação dos efeitos da mudança climática. Na Tabela 1 estão listadas diversas aplicações do DSSAT, juntamente com as referências dos trabalhos,, organizadas por continente no qual o estudo foi realizado.

Tabela 1 – Diversas aplicações do DSSAT e referências dos exemplos que descrevem as aplicações em detalhe, organizadas por continente no qual o estudo foi realizado.

Região	Tipo de Aplicação	Referências
África	Manejo da cultura	Fechter et al. (1991), Mbabaliye e Wojtkowski (1994), Vos e Mallett (1987), Wafula (1995).
	Fertilizantes	Jagtap, Abamu e Kling (1999), Singh et al. (1993), Thornton et al. (1995), Keating, Godwin e Watiki (1991).
	Irrigação	Kamel et al. (1995), MacRobert e Savage (1998).
	Agricultura de precisão	Booltink et al. (2001).
	Mudança climática	Muchena e Iglesias (1995).
	Variabilidade do clima	Phillips, Cane e Rosenzweig (1998).
	Segurança alimentar	Pisani (1987), Thornton et al. (1997).
continua		

Tabela 1 – continuação

Região	Tipo de Aplicação	Referências
Ásia	Manejo da cultura	Thornton et al. (1997), Jintrawet (1995), Singh, Boote e Virmani (1994), Singh et al. (1994), Salam, Jones e Kobayashi (2001).
	Fertilizante	Godwin, Meyer e Singh (1994).
	Irrigação	HUNDAL e PRABHJYOT-KAUR (1997).
	Pragas	Luo et al. (1997), Pinnschmidt, Batchelor e Teng (1995).
	Mudança climática	Jinghua e Erda (1996), Lal et al. (1998), Lal et al. (1999), Luo et al. (1995), Luo et al. (1998), Singh, Godwin e Morrison (1990).
	Variabilidade climática	Alocilja e Ritchie (1990), Gadgil, Rao e Sridhar (1999).
	Previsão da produtividade de grãos	Kaur e Hundal (1999), Singh et al. (1999).
Europa	Manejo da cultura	Hunkár (1994), Pfeil et al. (1992), Ruiz-Nogueira, Boote e Sau (2001), Sau, Boote e Ruiz-Nogueira (1999), Zalud et al. (2000).
	Fertilizante	Gabrielle e Kengni (1996), Gabrielle et al. (1998), Zalud et al. (2001).
	Irrigação	Nouna, Katerji e Mastrorilli (2000), Castrignano et al. (1998), Gerdes, Allison e Pereira (1994).
	Validação de variedades	Brisson, Bona e Bouniols (1989), Colson, Bouniols e Jones (1995).
	Agricultura de precisão	Booltink e Verhagen (1997), Bootink et al. (2001).
	Poluição ambiental	Kovács, Németh e Ritchie (1995).

continua

Tabela 1 – continuação

Região	Tipo de Aplicação	Referências
América do Norte	Mudança climática	Alexandrov e Hoogenboom (2000), Iglesias, Rosenzweig e Pereira (2000) Wolf et al. (1996), Wolf et al. (1996).
	Previsão da produtividade de grãos	Landau et al. (1998), Saarikko (2000).
	Sustentabilidade	Hoffmann e Ritchie (1993).
	Manejo da cultura	Egli e Bruening (1992), Jame e Cutforth (1996), Sexton et al. (1998).
	Fertilizantes	Beckie et al. (1995), Hodges (1999).
	Irrigação	Epperson, Hook e Mustafa (1993), Hook (1994), McClendon, Hoogenboom e Seginer (1996), Steele, Stegman e Knighton (2000), Swaney et al. (1983).
	Pragas	Barbour, Bridges e NeSmith (1994), Barbour e Bridges (1995), Batchelor et al. (1993), Boote et al. (1993), Batchelor et al. (1989) Mishoe et al. (1984).
	Validação de variedades	Andales et al. (2000), Irmak et al. (2000), Manrique, Hodges e Johnson (1990), Mavromatis et al. (2001), Piper et al. (1996b), Piper et al. (1996a), Piper, Boote e Jones (1998).
	Genômica	Boote e Tollenaar (1994), Boote, Kropff e Bindraban (2001) Hoogenboom et al. (1997), White e Hoogenboom (1996).
	Agricultura de precisão	Han et al. (1995), Sadler et al. (2000), Paz et al. (1998), Paz et al. (1999), Irmak et al. (2002), Paz et al. (2001), Paz, Batchelor e Tylka (2001), Seidl et al. (2001).
Poluição ambiental	Gerakis e Ritchie (1998), Pang et al. (1998).	

continua

Tabela 1 – continuação

Região	Tipo de Aplicação	Referências
América do Sul	Mudança climática	Hatch et al. (1999), Mearns et al. (1999), Rosenzweig e Tubiello (1996), Southworth et al. (2000), Tubiello, Rosenzweig e Volk (1995), Tubiello et al. (1999), Boote, Pickering e Allen (1997).
	Variabilidade climática	Hansen e Jones (2000) Jones et al. (2000), Mearns, Rosenzweig e Goldberg (1996).
	Previsão da produtividade	Carbone (1993), Carbone, Narunalani e King (1996), Chipanshi, Ripley e Lawford (1997), Chipanshi, Ripley e Lawford (1999), Duchon (1986), Georgiev e Hoogenboom (1999), Moulin e Beckie (1993).
	Sustentabilidade	Hasegawa et al. (1999), Hasegawa, Bryant e Denison (2000), Quemada e Cabrera (1995), Wagner-Riddle et al. (1997)
	Ensino	Cabrera (1994), Meisner, Karnok e McCrimmon (1991).
	Manejo da cultura	Savin et al. (1995), Travasso e Magrin (1998).
	Irrigação	Heinemann et al. (2000).
Agricultura de precisão	Booltink et al. (2001)	
Validação de variedades	Castelan-Ortega et al. (2000), Ferreyra et al. (2000), White et al. (1995).	
Mudança climática	Baethgen (1997), Conde et al. (1997), Díaz et al. (1997), Magrin et al. (1997), Maytín et al. (1995).	
Variabilidade climática	Messina, Hansen e Hall (1999), Podesta et al. (2002), Ferreyra et al. (2001), Royce, Jones e Hansen (2001).	

continua

Tabela 1 – continuação

Região	Tipo de Aplicação	Referências
	Previsão da produtividade de grãos	Meira e Guevara (1997), Travasso, Caldiz e Saluzzo (1996).
	Sustentabilidade	Bowen, Jones e Thornton (1993).
	Ensino	Ortiz (1998).

Fonte: Adaptado de Jones et al. (2003)

2.1.1 O modelo CERES-Rice

Muitos pesquisadores validaram o modelo CERES-Rice com sucesso e predizendo fenologia, crescimento, desenvolvimento e produtividade (AHMAD et al., 2013; BURESH et al., 1991; CHEYGLINTED; RANAMUKHAARACHCHI; SINGH, 2001; SINGH et al., 1999). Esses modelos também foram aplicados para aumentar a eficiência de uso dos recursos nos sistemas de cultivo (KROPFF; BOUMA; JONES, 2001; TIMSINA; CONNOR, 2001).

O modelo CERES foi primeiramente apresentado por Alocilja e Ritchie (1988), estando presente no DSSAT desde a versão 3 (TSUJI; UEHARA; BALAS, 1994). O modelo tem como objetivo, solicitar o menor número possível de variáveis meteorológicas, informações sobre o solo e coeficientes genéticos para cada cultivar, a fim de facilitar a transferência de tecnologia de uma região para outra. Informações sobre os arquivos de entrada serão mais elaborados na subseção 2.1.2.

Segundo Singh, Ritchie e Godwin (1993), o CERES-Rice é um modelo que descreve o crescimento e desenvolvimento do arroz (*Oryza sativa L.*), além de ser capaz de simular o balanço de água no solo nitrogênio, associado com o crescimento de arroz tanto em condições de sequeiro como inundação. O crescimento potencial é dependente principalmente da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), a interceptação da luz e a eficiência de conversão de luz, enquanto o crescimento real é limitado pelo manejo, solo e clima.

A simulação do desenvolvimento da cultura é baseada em um método iterativo diário, considerando os seguintes processos:

- Desenvolvimento da cultivar como função do genótipo e clima. O modelo simula os efeitos do fotoperíodo e temperatura no momento da iniciação da panícula e a duração de cada

estágio principal;

- Crescimento das folhas, caule e raízes;
- Acúmulo de biomassa e divisão entre folhas, caule, panícula, grãos e raízes;
- Uso da água pela cultivar e balanço hídrico, que simula evapotranspiração diária, escoamento superficial, percolação;
- Transformação de nitrogênio no solo e absorção pela cultivar.

Basicamente, os modelos CERES consideram a biomassa total (B_T) de uma cultivar como produto da taxa média de crescimento (g) e da duração do crescimento (d):

$$B_T = g \times d \quad (1)$$

A simulação da produtividade é um processo que deve envolver a estimativa de dois processos importantes. A produtividade é baseada na partição de B_T que é destinada ao grão. Essa fração pode variar de 0 (para cultivares sob altos níveis de estresse em momentos críticos) até 0,5 (para cultivares sob condições de desenvolvimento ótimas). Além disso, é importante estimar qual a fração destinada para o crescimento e desenvolvimento da cultivar.

A taxa do aumento da biomassa é influenciada principalmente pela quantidade de radiação solar interceptada pela planta durante uma faixa de temperatura ideal. A equação utilizada para a produção potencial de biomassa (PCARB) é:

$$PCARB = RUE \times IPAR \quad (2)$$

Em que, RUE é a eficiência do uso da radiação solar, IPAR é a fração de PAR interceptado pelas plantas, os valores são obtidos de:

$$IPAR = PAR \times [1 - e^{-k \times LAI}] \quad (3)$$

Em que, PAR é a radiação fotossinteticamente ativa, k é o coeficiente de extinção luminosa, LAI é o índice de área foliar.

A produção diária de biomassa (CARBO) pode ser menor que PCARB, caso não esteja em condições de temperatura, com deficit de água ou nitrogênio. A temperatura é ajustada para

aproximar a temperatura diurna (TDAY), utilizando a seguinte equação:

$$TDAY = 0,75 \times TMAX + 0,25 \times TMIN \quad (4)$$

Em que, TMAX é a temperatura máxima diária, TMIN é a temperatura mínima diária. O valor para TDAY é utilizado para calcular o fator de redução de temperatura (PRFT).

$$PRFT = 1 - T_c \times (TDAY - T_o)^2 \quad (5)$$

Em que, PRFT é o fator de redução de temperatura, T_c é a constante empírica de ajuste, T_o é a temperatura ótima para fotossíntese. A equação que calcula a CARBO, utiliza a lei do mínimo para reduzir o valor de PCARB.

$$CARBO = PCARB \times \min(PRFT, SWDF1, NDEF1, 1) \quad (6)$$

Em que, SWDF1 é o déficit de água, NDEF1 é o déficit de nitrogênio e *min* indica que será utilizado o menor valor entre os listados. Maior parte dos valores na lista dos limitantes varia entre 0 e 1, onde 1 é não-limitante e 0 é déficit máximo. O valor de CARBO, assim como PCARB, está em unidade de $g\ m^{-2}$. O valor é distribuído para cada planta, quando dividido por população de plantas (PLANTS). Dessa forma, assume que todas as plantas são idênticas e igualmente espaçadas na linha.

O crescimento de biomassa é calculado baseado na eficiência do uso de radiação solar, sendo que o valor é dividido entre folhas, caules, raízes e grãos. As parcelas utilizadas para determinar a divisão é baseado no estágio de crescimento da cultivar (RITCHIE et al., 1998). Segundo Aggarwal e Mall (2002a), O modelo estima a data de ocorrência de 9 estágios de desenvolvimento:

- Semeadura ou transplante
- Germinação (se a cultivar foi semeada)
- Emergência (se a cultivar foi semeada)
- Fase juvenil
- Iniciação da panícula
- Antese

- Início do enchimento de grão
- Fim do enchimento de grão
- Maturidade fisiológica

2.1.2 Arquivos entrada

Segundo Saseendran et al. (1998), para rodar o modelo são necessários os arquivos de entrada referentes as informações meteorológicas, os dados de solo, características genéticas (cultura e cultivar) e detalhes do experimento (manejo). Para comparar os resultados simulados com os dados observados a campo, a fim de validar o modelo, também é necessário o arquivo de performance do experimento.

Ao gerar um novo experimento no DSSAT, o usuário deverá selecionar os arquivos contendo informações sobre o experimento ao modelo (JONES et al., 2003). Os tipos diferentes de arquivos são os seguintes:

- a) *Weather data file* (FILEW): Contém dados meteorológicos diários, como a temperatura máxima e mínima, radiação solar total e precipitação acumulada para o período do experimento.
- b) *Soil data files* (FILES): Contém informações dos solos dos locais que foram inseridos na base de dados do DSSAT. Para rodar o modelo é possível selecionar uma descrição representativa do solo ou simplesmente adicionar uma nova informação de solo quando necessário. Solos são descritos por camadas, incluindo a profundidade de cada uma delas.
- c) *Cultivar data file* (FILEC): Contém os coeficientes genéticos da cultivar. Para o modelo CERES-Rice, oito coeficientes genéticos são necessários para descrever vários aspectos sobre a performance de determinado genótipo. Uma descrição mais detalhada é fornecida na Tabela 1.
- d) *Experiment details file* (FILEX): Contém as informações de manejo do experimento, como a data de semeadura, aplicação de fertilizantes e irrigação.
- e) *Experiment performance file* (FILEP): Contém os valores experimentais observados a campo, o qual pode ser utilizado para comparação com as saídas da simulação a fim de validar o modelo.

2.1.3 Arquivos saída

O modelo produz seis arquivos de saída, sendo estes: o arquivo *OVERVIEW*, no qual fornece uma visão geral das condições de entrada e performance da cultivar, além de comparações com os dados de campo, caso disponíveis; o segundo arquivo denominado *SUMMARY*, apresenta um resumo da saída para uso em outros softwares. Os quatro arquivos restantes (*GROWTH*, *CARBON*, *WATER* e *NITROGEN*) contém resultados detalhados, incluindo crescimento e desenvolvimento, balanço de carbono, balanço hídrico e balanço de nitrogênio (SASEENDRAN et al., 1998; JONES et al., 2003).

2.2 Coeficientes genéticos

Segundo Hunt et al. (1993), diversos modelos agrometeorológicos utilizam como dado de entrada, determinados coeficientes que efetuam a diferenciação entre as cultivares. Esses coeficientes, geralmente denominados coeficientes genéticos, permitem que os modelos simulem a performance de diferentes genótipos sob diferentes condições de solo, clima e manejo. Com isso, teoricamente, o modelo pode ser utilizado para resolver o problema da interação dos genótipos com o ambiente. O modelo CERES-Rice trabalha com oito coeficientes genéticos, que estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos coeficientes genéticos

Nome	Descrição
<i>P1</i> (Coeficiente da fase juvenil)	O período de tempo descrito em GDD em °C numa base de temperatura de 9°C, durante a emergência da semente, a qual a planta não responde pelas mudanças no fotoperíodo. Esse período também se refere à fase vegetativa básica da planta.
<i>P2O</i> (Fotoperíodo crítico)	Fotoperíodo crítico ou o dia mais longo (em horas) o qual o desenvolvimento ocorre a taxa máxima. Para valores superiores que <i>P2O</i> , a taxa de desenvolvimento é diminuída, portanto, há um atraso no crescimento quando há dias muito longos.
<i>P2R</i> (Coeficiente do fotoperiodismo)	Indica o quanto a iniciação da panícula é atrasada, expressa em GDD, para cada hora a mais num fotoperíodo acima de <i>P2O</i> .
<i>P5</i> (Coeficiente de duração do preenchimento do grão)	Período do tempo em GDD do início do enchimento do grão (3-4 dias depois da florescência) para a maturidade fisiológica com a temperatura de base de 9°C.
<i>G1</i> (Coeficiente do número de panícula)	Estimado a partir do número de panículas por grama de massa seca do grão na antese. O valor típico é 55.
<i>G2</i> (Massa de um único grão)	Massa de um único grão (g) sob condições de crescimento ideais, como por exemplo, sem limitações de luz, água, nutrientes e na ausência de pragas.
<i>G3</i> (Coeficiente de perfilhamento)	Valor escalar relacionado com a cultivar em condições ideais. Uma cultivar com valor muito alto de perfilhamento teria um coeficiente maior que 1,0.
<i>G4</i> (Coeficiente de tolerância de temperatura)	Caso a cultivar seja recomendada para regiões mais frias, o valor será menor que 1.0 e, se recomendada para regiões mais quentes, o valor será maior que 1.0.

O DSSAT conta uma base de dados que possui diversas cultivares já calibradas por colaboradores do projeto, entretanto, para inserir uma nova cultivar que não consta na base de dados, é necessário calibrar os coeficientes genéticos antes de rodar o modelo.

Após a calibração dos coeficientes genéticos, muitos trabalhos obtiveram bons resultados

simulando a produtividade em ecossistemas da Ásia (AGGARWAL; MALL, 2002b; AMIRI et al., 2014; BASSO; LIU; RITCHIE, 2016; LAL et al., 1998; SARKAR; KAR, 2008; SUBASH; MOHAN, 2012; TAO et al., 2008; TIMSINA et al., 1998; XIONG et al., 2008; YAO et al., 2007; YUN, 2003). Além disso, também pesquisadores realizaram simulações sobre o impacto da mudança climática na produção do arroz (XIONG et al., 2009; TAO et al., 2008; MATTHEWS et al., 1997).

3 METODOLOGIA

3.1 Desenvolvimento do algoritmo de formatação dos dados meteorológicos

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos através da rede de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ao solicitar os dados para o INMET, os arquivos são disponibilizado em formato *.xls*. São divididos em dois arquivos de dados, contendo as informações meteorológicas para cada hora. Além disso, os arquivos estão divididos também em duas partes, o primeiro com informações até 2014 e outros a partir de 2015.

Os arquivos a partir de 2016 possuem organização das colunas diferentes dos arquivos até 2015, havendo a necessidade de corrigir a questões do posicionamento dos dados de acordo com as colunas. As informações estão em horário UTC, para o horário oficial de Brasília, basta subtrair 3 horas. Falhas decorrentes de problemas (pane) nos sensores ou sinal de satélite estão identificadas pela palavra *NULL*. As colunas referentes à radiação também estão preenchidas pela palavra *NULL* nos horários em que não há radiação.

Figura 3 – Dados da estação meteorológica de Porto Alegre em planilha eletrônica

	A	B	C	D	E
1		MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA			
2		INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET			
3		ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE PORTO ALEGRE/RS			
4					
5					
6	Alt.	46,97m			
7	Lat.	30°03'S			
8	Lon.	51°10'W			
9					
10		TEMPERATURA DO AR (°C)	TEMPERATURA DO AR (°C)	TEMPERATURA DO AR (°C)	TEMPERATURA DO AR (°C)
11	HORA UTC	0000	0100	0200	0300
12	22-Sep-2000	NULL	NULL	NULL	NULL
13	23-Sep-2000	13,9	13,3	12,9	12,8
14	24-Sep-2000	18,6	18,5	18,7	17,8
15	25-Sep-2000	11,6	11,0	10,2	10,1
16	26-Sep-2000	10,1	9,9	9,3	9,2
17	27-Sep-2000	10,7	10,3	10,7	10,5
18	28-Sep-2000	16,0	15,4	14,8	13,9
19	29-Sep-2000	18,0	17,7	16,5	16,7
20	30-Sep-2000	17,7	16,9	16,3	15,3
21	01-Oct-2000	19,2	18,8	18,6	18,3
22	02-Oct-2000	18,9	18,6	17,7	17,2
23	03-Oct-2000	18,6	18,4	18,3	18,2
24	04-Oct-2000	16,1	16,7	17,2	17,0
25	05-Oct-2000	17,6	16,8	16,8	16,8
26	06-Oct-2000	17,2	14,4	14,1	13,3
27	07-Oct-2000	15,5	15,4	15,0	14,5

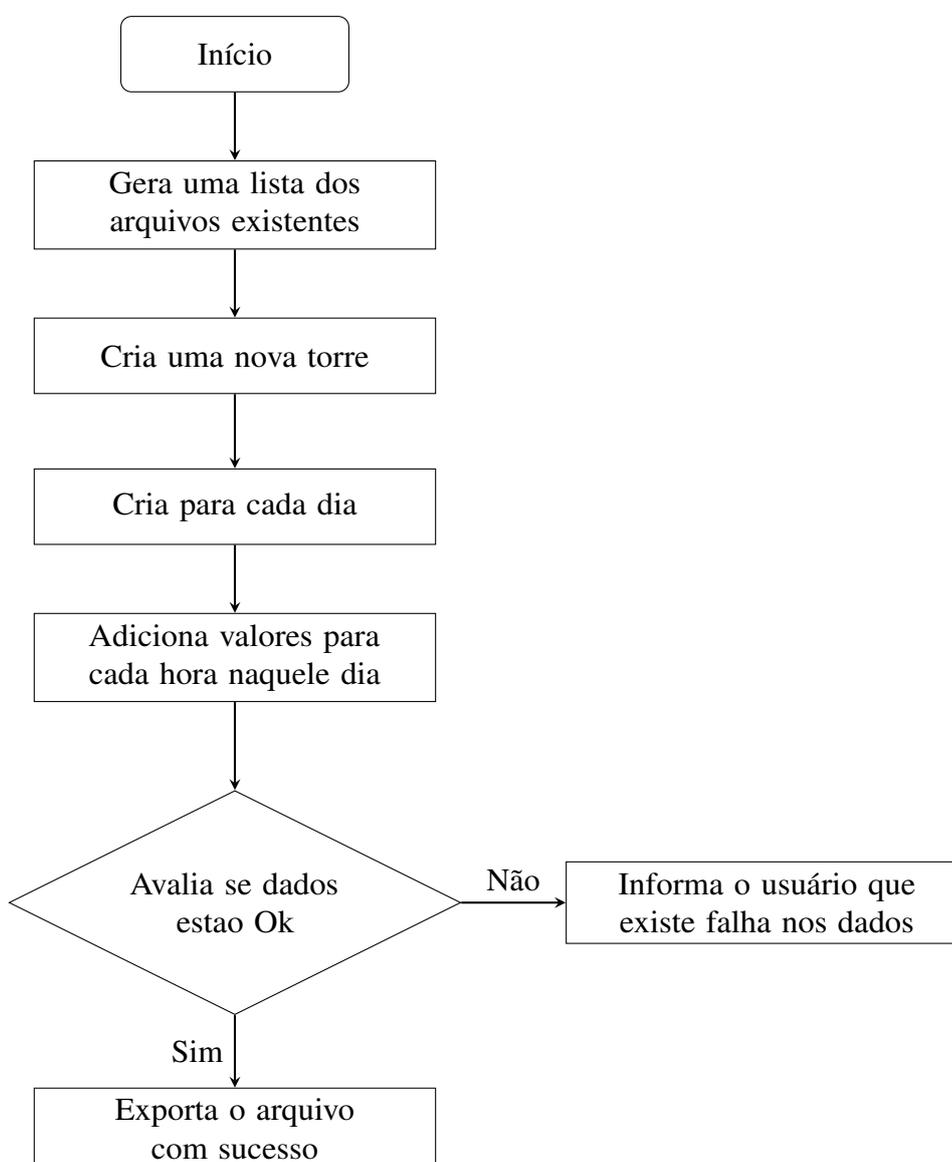
Fonte – O Autor (2017)

Para trabalhar com maior praticidade, foi desenvolvido um algoritmo na linguagem de programação *Python*. Primeiramente, todos os arquivos meteorológicos são inseridos na mesma pasta. O programa avalia os arquivos e lista as torres/municípios presentes. Há a opção de selecionar uma única torre ou exportar todas ao mesmo tempo, além do formato que é necessário

para o desenvolvimento dos arquivos, pois o formato utilizado para o DSSAT é diferente do SimulArroz.

Após a seleção de quais arquivos serão utilizados, o algoritmo carrega o arquivo *.xls* em uma tabela e direciona os dados. Cada torre é descrita por uma classe "Torre", que possui dados como nome do local, coordenadas e o conjunto de dias. As horas são adicionadas em uma classe, definida como Dia, cada dia, realiza a avaliação se poderá ser aproveitado ou não, ao concluir 24 horas de dados. Há uma regra de limite da falha dos dados, pois existem situações de poucas horas com falha serem ignoradas para não haver necessidade de descarte de dados. Esse limite é definido nas configurações.

Figura 4 – Fluxograma do funcionamento script.



Para cada dia são adicionados os valores de temperatura máxima, temperatura mínima e

radiação solar total por hora, ao completar todos os dados do dia é realizada uma avaliação de acordo com a quantidade de valores nulos contidos no arquivo. De acordo com a quantidade de falhas encontradas para aquele dia, é retornado o valor -99 para todos os casos. Entretanto, caso tudo esteja correto é realizada a análise para todas as horas de acordo com cada função desejada. Para temperatura máxima é obtido o maior valor, temperatura mínima o menor valor e para radiação solar é realizada a soma de todos os valores. No final do processo, é gerado o arquivo no formato definido, junto com as especificações dos períodos disponíveis.

3.2 Descrição dos experimentos utilizados para o ajuste

A cultivar escolhida para testar a capacidade de predição da produtividade de arroz do modelo CERES-Rice foi a IRGA 424. Segundo SOSBAI (2016), a cultivar é especialmente indicada para cultivo nas regiões da Zona Sul e Campanha, onde apresenta boa adaptação às condições de temperatura média baixa, porém mostra excelente desempenho também nas demais regiões do Estado do RS. Para a obtenção dos dados realizou-se uma busca na literatura por trabalhos científicos nos quais eram relatados valores de produtividade de grãos em experimentos conduzidos em diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

Devido a falta de dados completos de todas as informações publicados nos artigos, as opções que calculavam os recursos (balanço hídrico, nitrogênio, carbono) foram desativados, resultando na exclusão de alguns experimentos que não seguiam a recomendação da SOSBAI. Entretanto, para utilizar o modelo, necessitou apenas de informações mais básicas, como local do experimento, dados meteorológicos, data de semeadura e/ou emergência e produtividade para a validação. Os dados meteorológicos diários (temperatura mínima, máxima e radiação solar), necessários para o modelo CERES-Rice em cada experimento simulado foram obtidos de estações meteorológicas do INMET do município ou mais próximo a este. Após a reunião dos dados de experimentos obtidos em artigos, ocorreu um processo de exclusão devido a ausência de dados meteorológicos do INMET. A lista com os municípios, safras e referências pode ser conferida na Tabela 3.

3.3 GENCALC

Para o ajuste de coeficientes foi utilizado o módulo *Genotype Coefficient Calculator* (GENCALC), que é um software que facilita o cálculo dos coeficientes genéticos para uso em modelos existentes. No GENCALC, os coeficientes para um genótipo são obtidos através de um

Tabela 3 – Trabalhos utilizados como fonte dos dados de entrada para o modelo.

Município	Safras	Referências
Cachoeirinha	2011/12, 2014/15 e 2012/13	Lopes et al. (2013), Marcolin et al. (2015), Sartori et al. (2013) e Waldow et al. (2013)
Cachoeira	2014/15	Marcolin et al. (2015)
Uruguaiana	2014/15	Marcolin et al. (2015)
Capão do Leão	2012/13	Martini et al. (2013)
Dom Pedrito	2010/11	Sartori et al. (2013)
Santa Maria	2010/11 e 2011/12	Sartori et al. (2013)
Camaquã	2012/13	Waldow et al. (2013)

método iterativo: a partir de coeficientes iniciais, novos coeficientes são estimados e inseridos no modelo. O resultado encontrado é comparado com os dados experimentais, sendo então os valores ajustados até que os valores sejam o mais próximo possível (HUNT et al., 1993).

A foi realizada de forma aleatória contemplando 30% do total dos experimentos. Após este processo, foram validados os coeficientes obtidos nos restantes dos experimentos. Para a escolha dos valores de coeficientes iniciais, rodou-se todos os valores dos coeficientes já presentes na base de dados do DSSAT, a fim de escolher o conjunto de coeficientes que obtive-se menor erro.

3.4 Avaliação da resposta na estimativa da data de florescimento

Mariot et al. (2009) avaliaram o rendimento de grãos de genótipos de arroz irrigado de distintos ciclos em função de época de semeadura. Os experimentos foram conduzidos durante a estação de crescimento de 2008/09 na Estação Experimental do Arroz do IRGA, em Cachoeirinha e na Estação Regional da Fronteira Oeste do IRGA em Uruguaiana. Para o presente trabalho utilizaram-se as informações referentes as datas presentes no trabalho de Mariot et al. (2009) (Tabela 4).

Tabela 4 – Datas de semeadura, emergência e florescimento nas localidades de Cachoeirinha e Uruguaiiana para oito datas de semeadura, safra 2008/09. Adaptado de (MARIOT et al., 2009)

Local		Datas							
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a
Cachoeirinha	Semeadura	02/09	19/09	03/10	01/11	13/11	28/11	08/12	22/12
	Emergência	04/10	07/10	25/10	09/11	28/11	09/12	21/12	30/12
	Florescimento	14/01	13/01	30/01	07/02	16/02	02/03	09/03	24/03
Uruguaiiana	Semeadura	01/09*	15/09*	03/10*	20/10	03/11	14/11	01/12	15/12
	Emergência	25/09*	07/10*	18/10*	01/11	08/11	03/12	09/12	20/12
	Florescimento	05/01*	07/01*	15/01*	26/01	09/02	02/03	12/03	24/03

*Não foi possível adicionar por falta de dados meteorológicos

3.5 SimulArroz

O modelo SimulArroz foi utilizado para efetuar uma comparação entre o resultado obtido pelo CERES-Rice e o modelo mais utilizado no Rio Grande do Sul (ROSA et al., 2015; SILVA et al., 2016; STRECK et al., 2013b). Os dados meteorológicos utilizados no modelo CERES-Rice foram os mesmos aplicados no SimulArroz, apenas o formato do arquivo de entrada é diferente. Os resultados são exportados numa tabela, verificou-se o valor para produtividade ajustada a 13% de umidade. A captura de tela da tela inicial do *software* SimulArroz pode ser conferida na Figura 5.

O SimulArroz v.1.1 necessita de dois grupos de dados de entrada (*inputs*) para ser rodado: dados da cultura e dados meteorológicos. Os dados da cultura devem ser informados pelo usuário na tela principal do programa [...] e incluem: escolha da cultivar/híbrido ou do grupo de maturação (o usuário pode optar, estando a cultivar na lista do programa ou se a cultivar de seu interesse não consta na lista, o usuário deve saber o grupo de maturação à que a cultivar pertence), data de semeadura ou emergência, densidade de plantas (pl m^{-2}), número de safras a serem simuladas, nível tecnológico da lavoura e concentração de CO_2 atmosférico. Os dados meteorológicos são temperatura mínima e máxima diária ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), os quais devem ser fornecidos em um arquivo de entrada no formato **.txt*, [...] separados por tabulação (tecla *TAB*). Independente do volume de dados armazenados no arquivo de entrada **.txt*, o programa, ao ser executado pelo usuário, utilizará apenas dados necessários para completar o ciclo da cultura (STRECK et al., 2013a).

3.6 Análise estatística

Os valores calculados para a raiz do erro quadrático médio (REQM) determinam o grau de concordância entre os valores simulados com seus respectivos valores observados, um valor

Figura 5 – Tela inicial do *software* SimulArroz

Fonte – O Autor (2017)

baixo para REQM é desejado. O valor REQM foi calculado conforme a Equação 7, onde P é o valor previsto pelo modelo e O é o valor observado a campo.

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

Além disso, a performance do modelo também foi avaliada através do raiz do erro quadrático médio normalizado (REQMN) (Equação 8), onde há a medida em porcentagem em relação aos valores observados aos simulados. Segundo Vijayalaxmi, Sreenivas e Rani (2016), a simulação considera excelente um REQMN menor de 10%, entre 10% e 20% é considerado bom, razoável se o valor foi maior que 20% e menor que 30% e ruim se o REQMN for maior que 30%

$$\text{REQMN} = \frac{\text{REQM}}{\bar{O}} \quad (8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Preparação dos dados meteorológicos

No final da avaliação do algoritmo dos dados meteorológicos, é emitida uma saída no terminal com os dias separados pelo mês e ano (Figura 6), o esquema de cores utilizados nos números varia de acordo com a presença de falhas no dia, em branco estão os dias que estão todos os dados presentes, se a data aparece em amarelo, significa falha parcial (com poucas horas de dados não registrados) e vermelho é considerado inutilizável para o modelo, uma vez que não foi aplicado nenhum tipo de técnica de preenchimento de dados. As falhas parciais não são consideradas um problema para o trabalho, embora possam acarretar em erros no modelo, na maior parte dos casos se refere a falhas de uma ou duas horas. Em casos de pane grave nos equipamentos da torre, observa-se geralmente como observado na Figura 6, onde há falha parcial nos primeiros dias e geral nos seguintes.

Figura 6 – Exemplo de saída do algoritmo

```

Mes 2/2013:
  1   2   3   4   5   6   7
  8   9  10  11  12  13  14
 15  16  17  18  19  20  21
 22  23  24  25  26  27  28

Mes 3/2013:
  1   2   3   4   5   6   7
  8   9  10  11  12  13  14
 15  16  17  18  19  20  21
 22  23  24  25  26  27  28
 29  30  31
  
```

The image shows a terminal window with a black background and white text. It displays two calendar grids for the months of February and March 2013. The days are color-coded: white for full data, yellow for partial data, and red for unusable data. In February, days 20 and 21 are yellow, and days 22 through 28 are red. In March, days 9 through 13 are red, and day 28 is red. Days 1 through 8, 14 through 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, and 31 are white.

Fonte – O Autor (2017)

Após a obtenção dos dados do arquivo .xls, o algoritmo está pronto para exportar os dados de acordo com o formato desejado. Na Figura 7 é possível verificar os dados exportados para uso no DSSAT.

Figura 7 – Saída de dados para uso no DSSAT

```
*WEATHER DATA : INMET, Porto Alegre
@ INSI      LAT      LONG  ELEV   TAV   AMP REFHT WNDHT
  PALG    -30.050  -51.133 46.97 -99.0 -99.0 -99.0 -99.0
@DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN  DEWP  WIND   PAR  EVAP  RHUM
17001  27.6  33.0  22.4   0.0
17002  19.7  31.6  23.7   0.0
17003  25.9  34.6  22.5   0.0
17004  19.3  33.3  20.9  78.8
17005  19.2  31.2  21.5  10.8
17006  19.2  27.4  21.1   0.2
17007  12.1  29.5  21.3   0.0
17008  24.9  33.4  23.3   0.0
17009  18.3  30.5  22.1   8.0
17010  19.0  30.1  21.7  42.6
17011  27.5  30.5  22.0   2.4
17012  30.2  30.8  19.9   0.0
17013  30.2  33.6  18.5   0.0
17014  18.8  31.2  23.4   0.2
17015  23.3  32.8  23.3   0.0
17016  14.3  31.6  20.5  27.6
17017  21.7  30.5  21.0  11.6
17018  26.5  31.1  23.0   0.0
17019  31.1  29.2  19.0   0.0
17020  30.0  29.9  19.3   0.0
17021  28.7  29.5  19.7   0.0
17022  24.8  31.4  20.4   0.0
17023  23.4  32.3  22.4   0.0
17024  25.7  33.3  22.1   0.0
17025  20.2  30.3  21.3   6.4
17026  17.9  28.3  19.7   1.2
17027  29.5  27.5  17.8   0.0
17028  26.3  29.7  17.5   0.0
17029  22.5  31.8  20.7   0.0
17030  21.9  34.2  22.5   0.0
17031  14.8  31.9  22.5   5.0
17032  17.3  31.0  22.9   0.0
```

Fonte – O Autor (2017)

A Tabela 5 apresenta o maior e menor valor de temperatura, a temperatura média e radiação solar média para o período observado. É possível observar que, o Experimento H obteve o menor valor de temperatura média entre os casos estudados e também foi o maior valor encontrado na simulação pelo CERES-Rice (Figura 9). Além disso, o Experimento I que possui o maior valor de temperatura média registrada, obteve o menor valor na produtividade simulada. A cultivar IRGA 424 é recomendada para climas mais frios, portanto, o comportamento observado na simulação corresponde em relação a temperatura ao esperado na realidade.

Figura 8 – Saída de dados para uso no SimulArroz

Ano	Dia	TMin	TMax	solRad
2000	266	12	21	22.2
2000	267	11	27	19.5
2000	268	10	18	7.3
2000	269	6	14	23.7
2000	270	7	17	23.9
2000	271	7	22	22.9
2000	272	12	26	23.8
2000	273	11	26	23.3
2000	274	13	25	15.9
2000	275	16	24	12.0
2000	276	16	22	9.3
2000	277	14	20	3.9
2000	278	16	21	3.9
2000	279	14	20	21.2
2000	280	12	20	26.3
2000	281	10	22	25.5
2000	282	11	23	26.5
2000	283	14	23	7.8
2000	284	13	19	11.7
2000	285	13	24	11.3

Fonte – O Autor (2017)

Tabela 5 – Valores de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e radiação solar diária média no período simulado para cada experimento.

Experimento	Temperatura (°C)			Radiação solar (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
	Mínimo	Máximo	Médio	
A	12.4	37.1	23.8	21.7
B	8.7	35.7	21.2	21.8
C	11.2	36.8	24.4	23.8
D	11.4	36.3	23.7	23.5
E	13.3	37.4	24.5	21.2
F	9.7	36.2	24.5	22.6
G	8.0	38.0	23.4	25.5
H	8.6	34.4	21.1	22.4
I	13.1	38.7	25.4	22.2
J	9.7	36.2	24.5	22.6
K	11.4	36.3	23.7	23.5
L	11.5	37.8	23.1	22.0
M	13.1	38.7	25.4	22.2
N	13.7	39.0	24.6	23.3
O	8.7	35.7	21.2	21.8

Os valores obtidos foram comparados com os processados manualmente em 3 casos, para verificar a confiabilidade do processo. Essa análise teve como foco principalmente a questão da troca de tabelas do ano 2014 para 2015, que mostrou-se estar correta. Utilizando o algoritmo foi possível extrair as informações necessárias para gerar o gráfico e os arquivos meteorológicos para serem aplicados no modelo CERES-Rice e SimulArroz, de forma rápida e eficaz.

Essa forma além de realizar as funções necessárias para o trabalho, não só permite a exportação dos dados para o uso em outros modelos meteorológicos, mas também podem ser incorporadas novas funções, como por exemplo, técnicas de preenchimento de dados e análise de dados meteorológicos (REICHSTEIN et al., 2005; MOFFAT et al., 2007).

4.2 Calibração dos coeficientes genéticos

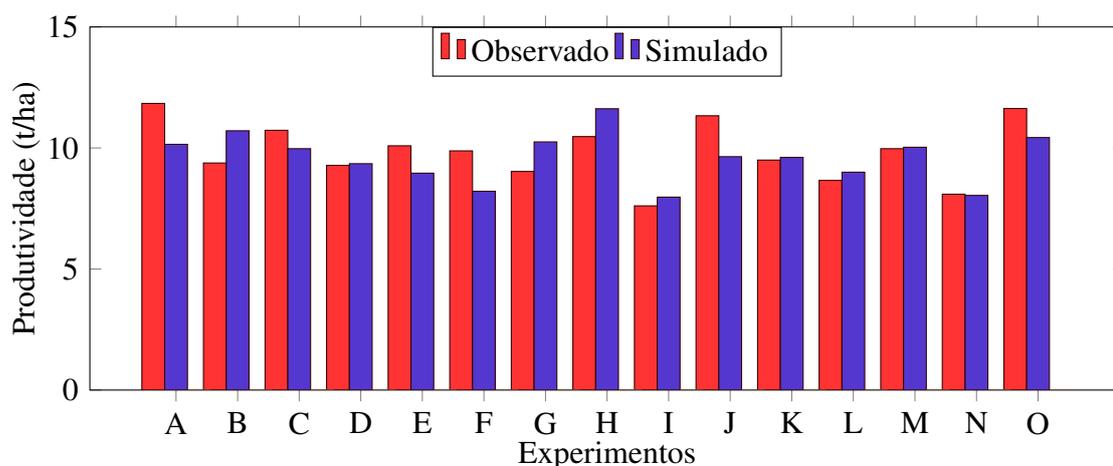
De acordo com o processo para a escolha dos coeficientes genéticos iniciais para a calibração, os coeficientes da cultivar denominada *Japanese* no banco de dados obteve o menor erro e foram utilizados como iniciais para o ajuste. Os coeficientes obtidos no final do processo de calibração, pode ser observado na Tabela 6. Todos os coeficientes obtidos através do ajuste para a cultivar IRGA 424 foram próximos aos valores assumidos inicialmente.

Tabela 6 – Coeficientes genéticos para a cultivar IRGA 424 ajustados para as condições agroclimáticas do Rio Grande do Sul.

Coeficiente genético	Valor para IRGA 424	Valor para Japanese
P1	242.5	220.0
P2O	38.58	35.0
P2R	617.1	510.0
P5	13.23	12.0
G1	68.09	55.0
G2	.0260	.0250
G3	1.0	1.0
G4	1.0	1.0

Após o final do processo de calibração, os coeficientes obtidos foram utilizados para validação nos experimentos descritos na Tabela 3. As diferenças entre os valores observados e simulados não foram particularmente grandes. Maior partes das diferenças entre produtividade simulada e observada foram abaixo de 15%, exceto para um único experimento que possuiu 16,88% de diferença. A diferença entre os valores simulados e observado pode ser conferido na Figura 9.

Figura 9 – Comparação entre os valores observados e simulados.



Saseendran et al. (1998) validaram o modelo CERES-Rice para as condições climáticas para o estado de Kerala na Índia, através de dados obtidos em quatro datas de transplante, o sítio experimental não possuía nenhum sistema de irrigação, sendo assim, a produção foi irrigada somente através da chuva. A produção de grãos foi prevista com um erro de 3% para todos os experimentos, apesar de o valor ter sido inferior ao encontrado no presente trabalho. Segundo Ritchie et al. (1998), os valores simulados para a produtividade que são obtidos dentro de uma margem de $\pm 5\%$ a 15% são considerados aceitáveis.

As diferenças entre observado e simulado são atribuídas a diversos fatores que o modelo não considera. Vilayvong et al. (2015) obtiveram resultados abaixo de 10% entre os valores simulados e observados. O autor atribuiu o erro a outros fatores que o modelo não considera, como por exemplo, pragas. No caso do presente trabalho, também há a questão da distância entre a torre meteorológica e o experimento, onde, em muitos casos nem as coordenadas geográficas do sítio/estação experimental é divulgada no artigo.

Em relação aos estágios fenológicos, o modelo em média simulou a maturidade em 120 dias e a data de floração em 80. Segundo a SOSBAI (2016), para a cultivar IRGA 424 o padrão é 132 dias para maturidade e 96 para floração. A diferença nas datas de ocorrência pode representar um erro em relação à simulação do desenvolvimento da cultivar. Entretanto, deve-se considerar que para a calibração dos coeficientes, utilizaram-se apenas valores de produtividade e nenhuma informação fenológica.

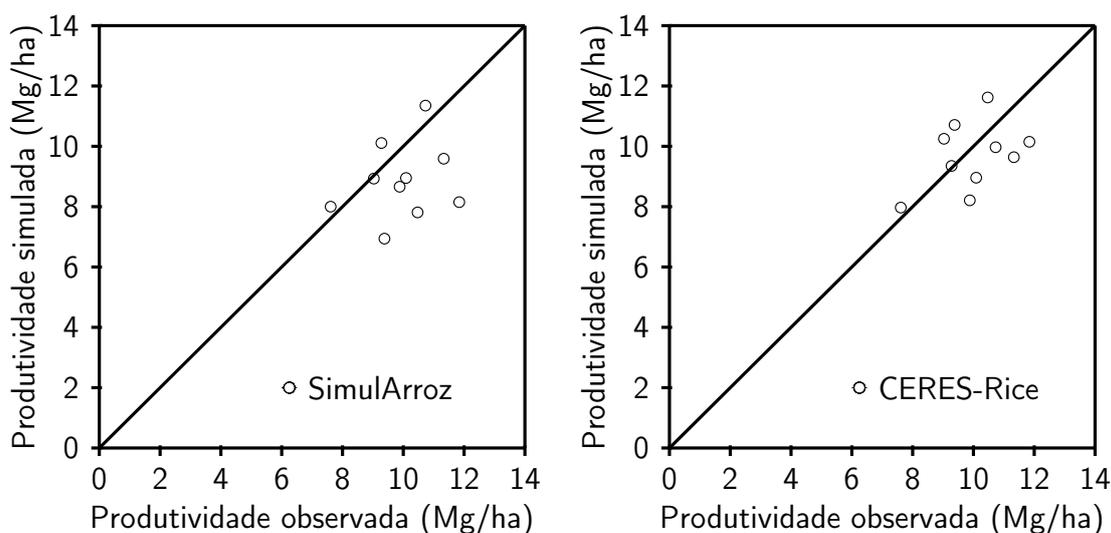
Como não foram utilizadas nenhuma informação fenológica para calibrar os coeficientes, não havia forma do software GENCALC ter como base as datas de floração e maturação como referência para realizar o ajuste. Portanto não é possível afirmar se os coeficientes são capazes de

simular o desenvolvimento da cultivar. Além disso, os mecanismos que calculavam a influência dos nutrientes no desenvolvimento da cultivar foram desativados. Por este motivo, caso ativado, não há como afirmar que irá representar a resposta no desenvolvimento sem realizar um novo estudo.

4.3 Comparação com o resultado obtido pelo SimulArroz

A distribuição dos erros dos valores para o modelo SimulArroz e CERES-Rice pode ser visualizado na Figura 10. O teste com o REQM apresentou valores de 1006,79kg para o modelo CERES-Rice e de 1819,16kg para o modelo SimulArroz. Com o teste de REQMN, o CERES-Rice foi 10,47%, pelo SimulArroz o valor foi 18,92%. Ambos os modelos foram considerados bons pelo teste do REQMN por estarem entre 10% e 20%, apesar de o CERES-Rice ter obtido um valor muito próximo a 10% enquanto o SimulArroz ter obtido próximo a 20%.

Figura 10 – Gráfico dos valores observado por valores estimados para os dois modelos utilizados



O baixo desempenho do modelo SimulArroz nos experimentos simulados no presente trabalho, não representa os resultados obtidos na literatura. Diversas pesquisas realizadas no Rio Grande do Sul obtiveram resultados satisfatórios, indicando que o modelo está apto a simular as cultivares locais, além dos esforços dos pesquisadores em aprimorar o modelo, pois existem alterações realizadas no SimulArroz voltadas para as cultivares do Rio Grande do Sul (RIBAS et al., 2017a; RIBAS et al., 2017b; SILVA et al., 2016; STRECK et al., 2013b).

Portanto o mais adequado seria analisar o modelo CERES-Rice, para avaliar se há algum mecanismo que possa ser incorporado no SimulArroz, uma vez que parte do código fonte do

ORYZA2000 e do InfoCrop foi utilizado no *software* SimulArroz, e o restante do código fonte foi desenvolvido para adaptar o modelo às cultivares de arroz do Rio Grande do Sul, sendo o diferencial do SimulArroz em relação a outros modelos (WALTER et al., 2012; ROSA et al., 2015; STRECK et al., 2013a).

4.4 Validação para data de florescimento

Devido a ausência de dados meteorológicos do INMET, ocorreu um processo de exclusão nos experimentos das 3 primeiras datas de semeadura em Uruguaiiana, de acordo com a Tabela 4. Para os experimento que puderam ser utilizados, as datas estimadas para o florescimento para cada época vs dias após a semeadura, para os dados experimentais e simulados, podem ser conferidos na Figura 11.

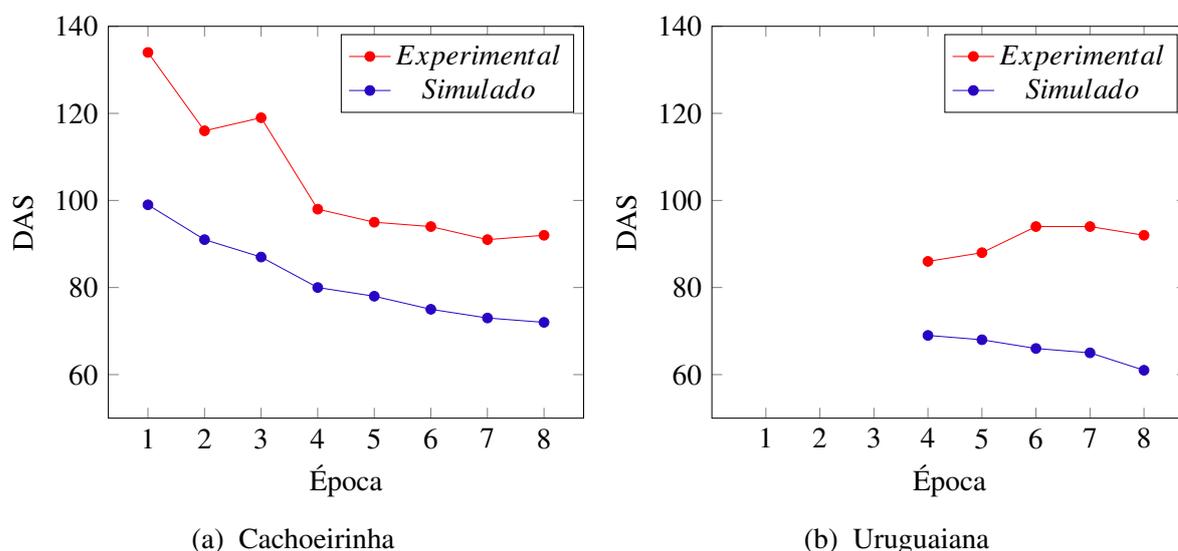


Figura 11 – Data da floração em dias após a semeadura (DAS) de acordo com cada época

Os valores obtidos na simulação para os dados de Cachoeirinha (Figura 11a), apesar de obterem média de 23 dias na diferença entre o experimental e simulado, acompanharam a tendência de decréscimo do tempo para o florescimento de acordo com as datas de semeadura, exceto para a terceira época (dia 03/10), onde nos valores experimentais observou-se uma diferença

Diferentemente dos valores para Cachoeirinha, o modelo divergiu do comportamento observado a campo os dados de Uruguaiiana (Figura 11b), enquanto os dados experimentais apresentavam uma tendência crescente nos dias após a semeadura para o florescimento o modelo simulou o inverso. Além disso, manteve uma média próxima dos dados de Cachoeirinha para a diferença média entre experimental e simulado, com 25 dias.

Saseendran et al. (1998) calibraram os coeficientes genéticos e validou para as condições climáticas do estado de Kerala na Índia, sendo que nos experimentos analisados obtiveram um erro de quatro dias para o florescimento. Sharma e Kumar (2005) em seu trabalho, obtiveram um erro de 0 a 7 dias ao validar o modelo utilizando conjunto de dados de diferentes locais e safras.

No Brasil, Cuadra, Steinmetz e Heineman (2015) calibraram os coeficientes genéticos e validaram o modelo CERES-Rice para as cultivares BRS ATALANTA, BRS QUERÊNCIA, BR-IRGA410 e BRS 7 TAIM. Os dados foram coletados em cinco safras agrícolas, de 2004/05 a 2008/09, constatou-se que após ajustar os coeficientes genéticos associados ao modelo CERES-Rice, o modelo foi capaz de simular com grande habilidade as variações da duração do ciclo das diferentes cultivares em função das datas de semeadura.

Apesar dos resultados obtidos pelo modelo não serem considerados satisfatórios, o problema apresentado pode ser decorrente dos coeficientes genéticos utilizados. Ao realizar o processo de calibração, utilizou-se somente dados da produtividade e nenhuma informação sobre os estádios fenológicos para realizar o ajuste. O resultado obtido por Cuadra, Steinmetz e Heineman (2015), reforça a ideia de que, com um bom ajuste de coeficientes é possível obter bons resultados com o modelo CERES-Rice para experimentos realizados no Brasil.

5 CONCLUSÃO

A técnica utilizada para a formatação dos dados meteorológicos, além de agilizar o processo para o uso no DSSAT e SimulArroz, possui um potencial de aprimoramento, principalmente em relação a técnicas de preenchimento de dados, que é algo muito importante para os pesquisadores que utilizam os dois programas.

Segundo os critérios presentes na literatura, pode-se afirmar que o modelo CERES-Rice foi capaz de prever a produtividade dentro dos limites aceitáveis. Apesar de considerar adequado os coeficientes genéticos obtidos para a cultivar IRGA 424, é necessário realizar uma nova análise, utilizando dados completos dos experimentos, incluindo os valores da adubação.

O modelo CERES-Rice obteve um resultado melhor nos casos estudados em relação ao SimulArroz. Entretanto, o trabalho não aconselha estabelecer uma prioridade de uso do modelo CERES-Rice ao SimulArroz, mas sim avaliar se é possível incorporar funções dos modelos CERES no projeto SimulArroz, assim como foi feito com o modelo ORYZA2000 e InfoCrop.

Apesar de ter demonstrado capacidade de estimar a produtividade dentro dos limites aceitáveis, os coeficientes utilizados não puderam ser eficazes na estimativa da data de florescimento nos casos estudados, sendo necessário realizar novos ajustes.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, P. K. et al. InfoCrop: a dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural systems**, Elsevier, v. 89, n. 1, p. 1–25, 2006.
- AGGARWAL, P. K.; MALL, R. K. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. I. Evaluation of impact assessment models. **Climatic Change**, v. 52, n. 3, p. 315–330, 2002.
- _____. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. II. effect of uncertainties in scenarios and crop models on impact assessment. **Climatic Change**, v. 52, n. 3, p. 331–343, 2002.
- AHMAD, S. et al. Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and irrigation management of transplanted rice for an irrigated semiarid environment. **Irrigation Science**, Springer, v. 31, n. 3, p. 491–506, 2013.
- AKINBILE, C. O. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in Ibadan, Nigeria. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 15, n. 1, p. 19–26, 2013.
- ALEXANDROV, V.; HOOGENBOOM, G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. **Agricultural and forest meteorology**, Elsevier, v. 104, n. 4, p. 315–327, 2000.
- ALOCILJA, E. C.; RITCHIE, J. T. **Upland rice simulation and its use in multicriteria optimization**. [S.l.]: International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, 1988.
- _____. The application of SIMOPT2: RICE to evaluate profit and yield-risk in upland-rice production. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 33, n. 4, p. 315–326, 1990.
- AMGAIN, L. P.; TIMSINA, J.; BIJAY-SINGH. Simulation of growth and yield of rice under different levels of nitrogen and irrigation in Punjab, using CSM-CERES-Rice model. 2008.
- AMIRI, E. et al. Evaluation of CERES-Rice, AquaCrop and ORYZA2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. **Journal of Plant Nutrition**, Taylor & Francis, v. 37, n. 11, p. 1749–1769, 2014.
- ANDALES, A. et al. Incorporating tillage effects into a soybean model. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 66, n. 2, p. 69–98, 2000.
- BAETHGEN, W. E. Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change. **Climate Research**, JSTOR, p. 1–7, 1997.
- BARBOUR, J. C.; BRIDGES, D. C. A model of competition for light between peanut (*Arachis hypogaea*) and broadleaf weeds. **Weed Science**, Cambridge University Press, v. 43, n. 2, p. 247–257, 1995.
- BARBOUR, J. C.; BRIDGES, D. C.; NESMITH, D. S. Peanut acclimation to simulated shading by weeds. **Agronomy journal**, American Society of Agronomy, v. 86, n. 5, p. 874–880, 1994.
- BASSO, B.; LIU, L.; RITCHIE, J. T. A comprehensive review of the CERES-Wheat,-Maize and-Rice models performances. **Advances in Agronomy**, Elsevier, v. 136, p. 27–132, 2016.

BATCHELOR, W. et al. Extending the use of crop models to study pest damage. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 36, n. 2, p. 551–558, 1993.

_____. An expert simulation system for soybean insect pest management. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 32, n. 1, p. 335–342, 1989.

BECKIE, H. et al. Testing effectiveness of four simulation models for estimating nitrates and water in two soils. **Canadian Journal of Soil Science**, NRC Research Press, v. 75, n. 1, p. 135–143, 1995.

BOOLTINK, H. et al. Tools for optimizing management of spatially-variable fields. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 70, n. 2, p. 445–476, 2001.

BOOLTINK, H.; VERHAGEN, J. Using decision support systems to optimize barley management on spatial variable soil. In: **Applications of systems approaches at the field level**. [S.l.]: Springer, 1997. p. 219–233.

BOOTE, K. et al. Pest damage relations at the field level. In: **Systems approaches for agricultural development**. [S.l.]: Springer, 1993. p. 277–296.

BOOTE, K.; JONES, J.; SINGH, P. Modeling growth and yield of groundnut. 1986.

BOOTE, K.; KROPFF, M.; BINDRABAN, P. Physiology and modelling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 70, n. 2, p. 395–420, 2001.

BOOTE, K.; PICKERING, N.; ALLEN, L. Plant modeling: advances and gaps in our capability to predict future crop growth and yield in response to global climate change. **Advances in Carbon Dioxide Effects Research**, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, n. advancesincarbo, p. 179–228, 1997.

BOOTE, K.; TOLLENAAR, M. Modeling genetic yield potential. **Physiology and determination of crop yield**, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, n. physiologyandde, p. 533–565, 1994.

BOUMAN, B.; LAAR, H. V. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 87, n. 3, p. 249–273, 2006.

BOWEN, W. T.; JONES, J. W.; THORNTON, P. K. Crop simulation as a potential tool for evaluating sustainable land management. In: **Proceedings of the Eighth international Soil Management Workshop: Utilization of Soil Survey Information for Sustainable Land-use**. USDA Soil Conservation Service, Oregon, California and Nevada. [S.l.: s.n.], 1993. p. 15–21.

BRISSON, N.; BONA, S.; BOUNIOLS, A. A soybean crop simulation model: validation and adaptation to varieties cultivated in southern Europe [SOYGRO]. **Agronomie (France)**, 1989.

BURESH, R. et al. Simulating soil nitrogen transformations and crop response to nitrogen using the CERES-Rice model. **IRRI research paper series-International Rice Research Institute**, 1991.

CABRERA, M. L. N-show: an educational computer program that displays dynamic graphs of nitrogen in soil. **Journal of Natural Resources and Life Sciences Education**, Madison, Wis.: American Society of Agronomy, 1992-, v. 23, n. 1, p. 43–45, 1994.

CARBONE, G. J. Considerations of meteorological time series in estimating regional-scale crop yield. **Journal of climate**, v. 6, n. 8, p. 1607–1615, 1993.

CARBONE, G. J.; NARURNALANI, S.; KING, M. Application of remote sensing and technologies with physiological crop models. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 2, p. 171–179, 1996.

CASTELAN-ORTEGA, O. et al. Evaluation of the CERES-Maize model in simulating Campesino farmer yields in the highlands of central Mexico. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 36, n. 4, p. 479–500, 2000.

CASTRIGNANO, A. et al. A modified version of CERES-Maize model for predicting crop response to salinity stress. **Ecological Modelling**, Elsevier, v. 111, n. 2, p. 107–120, 1998.

CHEYGLINTED, S.; RANAMUKHAARACHCHI, S.; SINGH, G. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in the Central Plain of Thailand. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge University Press, v. 137, n. 3, p. 289–298, 2001.

CHIPANSHI, A.; RIPLEY, E.; LAWFORD, R. Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical weather data using the CERES-Wheat model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 84, n. 3, p. 223–232, 1997.

_____. Large-scale simulation of wheat yields in a semi-arid environment using a crop-growth model. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 59, n. 1, p. 57–66, 1999.

COLSON, J.; BOUNIOLS, A.; JONES, J. W. Soybean reproductive development: adapting a model for European cultivars. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 87, n. 6, p. 1129–1139, 1995.

CONDE, C. et al. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. **Climate Research**, JSTOR, p. 17–23, 1997.

CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; HEINEMAN, A. B. Calibração do modelo CERES-Rice para cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: **IX Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. [S.l.: s.n.], 2015.

DÍAZ, R. A. et al. Climate change and its impact on the properties of agricultural soils in the Argentinean rolling pampas. **Climate Research**, JSTOR, p. 25–30, 1997.

DUCHON, C. E. Corn yield prediction using climatology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 25, n. 5, p. 581–590, 1986.

EGLI, D.; BRUENING, W. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 62, n. 1-2, p. 19–29, 1992.

EPPERSON, J. E.; HOOK, J. E.; MUSTAFA, Y. R. Dynamic programming for improving irrigation scheduling strategies of maize. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 42, n. 1-2, p. 85–101, 1993.

FECHTER, J. et al. An evaluation of the SWATRER and, CERES-Millet models for southwest Niger. 1991.

FERREYRA, R. et al. Modeling peanut leaf gas exchange for the calibration of crop models for different cultivars. **Ecological modelling**, Elsevier, v. 131, n. 2, p. 285–298, 2000.

FERREYRA, R. A. et al. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 107, n. 3, p. 177–192, 2001.

GABRIELLE, B. et al. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 57, n. 1, p. 95–111, 1998.

GABRIELLE, B.; KENGNI, L. Analysis and field-evaluation of the CERES models' soil components: Nitrogen transfer and transformations. **Soil Science Society of America Journal**, Soil Science Society of America, v. 60, n. 1, p. 142–149, 1996.

GADGIL, S.; RAO, P. S.; SRIDHAR, S. Modelling impact of climate variability on rainfed groundnut. **Current Science**, JSTOR, p. 557–569, 1999.

GEORGIEV, G. A.; HOOGENBOOM, G. Near real-time agricultural simulations on the web. **Simulation**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 73, n. 1, p. 22–28, 1999.

GERAKIS, A.; RITCHIE, J. T. Simulation of atrazine leaching in relation to water-table management using the CERES model. **Journal of environmental management**, Elsevier, v. 52, n. 3, p. 241–258, 1998.

GERDES, G.; ALLISON, B. E.; PEREIRA, L. S. Overestimation of soybean crop transpiration by sap flow measurements under field conditions in Central Portugal. **Irrigation Science**, Springer, v. 14, n. 3, p. 135–139, 1994.

GODWIN, D.; MEYER, W.; SINGH, U. Simulation of the effect of chilling injury and nitrogen supply on floret fertility and yield in rice. **Australian journal of experimental agriculture**, CSIRO, v. 34, n. 7, p. 921–926, 1994.

HAN, S. et al. Linking a geographic information system with a potato simulation model for site-specific crop management. **Journal of Environmental Quality**, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, v. 24, n. 4, p. 772–777, 1995.

HANSEN, J.; JONES, J. Scaling-up crop models for climate variability applications. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 65, n. 1, p. 43–72, 2000.

HASEGAWA, H.; BRYANT, D. C.; DENISON, R. F. Testing CERES model predictions of crop growth and N dynamics, in cropping systems with leguminous green manures in a Mediterranean climate. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 67, n. 3, p. 239–255, 2000.

HASEGAWA, H. et al. Testing CERES model predictions of N release from legume cover crop residue. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 63, n. 3, p. 255–267, 1999.

HATCH, U. et al. Potential effects of climate change on agricultural water use in the Southeast US. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, Wiley Online Library, v. 35, n. 6, p. 1551–1561, 1999.

HEINEMANN, A. et al. Center pivot irrigation management optimization of dry beans in humid areas. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 43, n. 6, p. 1507, 2000.

HODGES, T. Water and nitrogen applications for potato: commercial and experimental rates compared to a simulation model. **Journal of Sustainable Agriculture**, Taylor & Francis, v. 13, n. 2, p. 79–90, 1999.

HOFFMANN, F.; RITCHIE, J. Model for slurry and manure in CERES and similar models. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Wiley Online Library, v. 170, n. 5, p. 330–340, 1993.

HOOGENBOOM, G. et al. Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0. **University of Hawaii, Honolulu, HI (CD-ROM)**, 2004.

_____. Evaluation of a crop simulation model that incorporates gene action. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 89, n. 4, p. 613–620, 1997.

HOOK, J. E. Using crop models to plan water withdrawals for irrigation in drought years. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 45, n. 3, p. 271–289, 1994.

HUNDAL, S. S.; PRABHJYOT-KAUR. Application of the CERES–Wheat model to yield predictions in the irrigated plains of the Indian Punjab. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge University Press, v. 129, n. 1, p. 13–18, 1997.

HUNKÁR, M. Validation of crop simulation model CERES-Maize. **Idojarás**, Hungarian Meteorological Service, v. 98, n. 1, p. 37–46, 1994.

HUNT, L. A. et al. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1090–1094, Set-Out 1993.

IGLESIAS, A.; ROSENZWEIG, C.; PEREIRA, D. Agricultural impacts of climate change in Spain: developing tools for a spatial analysis. **Global Environmental Change**, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 69–80, 2000.

IRMAK, A. et al. Linking multiple layers of information for diagnosing causes of spatial yield variability in soybean. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 45, n. 3, p. 839, 2002.

_____. Evaluating methods for simulating soybean cultivar responses using cross validation. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 92, n. 6, p. 1140–1149, 2000.

JAGTAP, S.; ABAMU, F.; KLING, J. Long-term assessment of nitrogen and variety technologies on attainable maize yields in Nigeria using CERES-Maize. **Agricultural systems**, Elsevier, v. 60, n. 2, p. 77–86, 1999.

JAME, Y.; CUTFORTH, H. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, NRC Research Press, v. 76, n. 1, p. 9–19, 1996.

JINGHUA, W.; ERDA, L. The impacts of potential climate change and climate variability on simulated maize production in China. In: **Climate Change Vulnerability and Adaptation in Asia and the Pacific**. [S.l.]: Springer, 1996. p. 75–85.

JINTRAWET, A. A decision support system for rapid assessment of lowland rice-based cropping alternatives in Thailand. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 47, n. 2, p. 245–258, 1995.

JONES, C. A.; KINIRY, J. R.; DYKE, P. **CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development**. [S.l.]: Texas A& M University Press, 1986.

JONES, J. Decision support systems for agricultural development. In: **Systems approaches for agricultural development**. [S.l.]: Springer, 1993. p. 459–471.

JONES, J. W. et al. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. **Agriculture, ecosystems & environment**, Elsevier, v. 82, n. 1, p. 169–184, 2000.

_____. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 235–265, 2003.

KAMEL, A. et al. Integrated wheat crop management based on generic task knowledge-based systems and CERES numerical simulation. **AI applications**, 1995.

KAUR, P.; HUNDAL, S. Forecasting growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea*) with a dynamic simulation model ‘PNUTGRO’ under Punjab conditions. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge University Press, v. 133, n. 2, p. 167–173, 1999.

KEATING, B.; GODWIN, D.; WATIKI, J. Optimising nitrogen inputs in response to climatic risk. **Climatic Risk in Crop Production-Models and Management for the Semi-arid Tropics and Subtropics**. CAB Internatinal, Wallingford, 1991.

KOVÁCS, G.; NÉMETH, T.; RITCHIE, J. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 49, n. 4, p. 385–397, 1995.

KROPFF, M.; BOUMA, J.; JONES, J. Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 70, n. 2, p. 369–393, 2001.

LAL, M. et al. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. **Agricultural and forest meteorology**, Elsevier, v. 89, n. 2, p. 101–114, 1998.

_____. Growth and yield responses of soybean in Madhya Pradesh, India to climate variability and change. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 93, n. 1, p. 53–70, 1999.

LANDAU, S. et al. Testing winter wheat simulation models predictions against observed UK grain yields. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 89, n. 2, p. 85–99, 1998.

LOPES, M. C. B. et al. Avaliação regional do ensaio de valor e cultivo e uso (VCU) de linhagens de arroz irrigado do programa de melhoramento genético do IRGA, safra 2011/12. In: **VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 8.

LUO, Y. et al. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. **Journal of Biogeography**, JSTOR, p. 673–678, 1995.

_____. A rice-leaf blast combined model for simulation of epidemics and yield loss. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 53, n. 1, p. 27–39, 1997.

_____. The effects of global temperature change on rice leaf blast epidemics: a simulation study in three agroecological zones. **Agriculture, ecosystems & environment**, Elsevier, v. 68, n. 3, p. 187–196, 1998.

MACROBERT, J.; SAVAGE, M. The use of a crop simulation model for planning wheat irrigation in Zimbabwe. In: **Understanding options for agricultural production**. [S.l.]: Springer, 1998. p. 205–220.

MAGRIN, G. O. et al. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. **Climate Research**, JSTOR, p. 31–36, 1997.

MAHMOOD, R.; LEGATES, D. R.; MEO, M. The role of soil water availability in potential rainfed rice productivity in Bangladesh: applications of the CERES-Rice model. **Applied Geography**, Elsevier, v. 24, n. 2, p. 139–159, 2004.

MAHMOOD, R. et al. The CERES-Rice model-based estimates of potential monsoon season rainfed rice productivity in Bangladesh. **The Professional Geographer**, Taylor & Francis, v. 55, n. 2, p. 259–273, 2003.

MANRIQUE, L. A.; HODGES, T.; JOHNSON, B. Genetic variables for potato. **American Journal of Potato Research**, Springer, v. 67, n. 10, p. 669–683, 1990.

MARCOLIN, E. et al. Produtividade de grãos de arroz irrigado em função da drenagem da água a partir do florescimento pleno. In: **IX Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. [S.l.: s.n.], 2015. v. 9.

MARIOT, C. H. P. et al. Ensaio bioclimático de arroz irrigado nas regiões da planície costeira externa e fronteira oeste do RS - Safra 2008/09. **VI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2009.

MARTINI, L. F. D. et al. Fitotoxicidade de herbicidas na cultura do arroz irrigado submetida ao estresse por frio nos anos 2010/11 e 2011/12. In: **VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 8.

MATTHEWS, R. et al. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. **Agricultural Systems**, v. 54, n. 3, p. 399–425, Julho 1997.

MAVROMATIS, T. et al. Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials. **Crop Science**, Crop Science Society of America, v. 41, n. 1, p. 40–51, 2001.

MAYTÍN, C. E. et al. Potential effects of global climatic change on the phenology and yield of maize in Venezuela. **Climatic Change**, Springer, v. 29, n. 2, p. 189–211, 1995.

MBABALIYE, T.; WOJTKOWSKI, P. Problems and perspectives on the use of a crop simulation model in an African research station. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 30, n. 4, p. 441–446, 1994.

MCCLENDON, R.; HOOGENBOOM, G.; SEGNER, I. Optimal control and neural networks applied to peanut irrigation management. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 39, n. 1, p. 275–279, 1996.

MEARNS, L. et al. Comparative responses of EPIC and CERES crop models to high and low spatial resolution climate change scenarios. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Wiley Online Library, v. 104, n. D6, p. 6623–6646, 1999.

MEARNS, L. O.; ROSENZWEIG, C.; GOLDBERG, R. The effect of changes in daily and interannual climatic variability on CERES-Wheat: a sensitivity study. **Climatic Change**, Springer, v. 32, n. 3, p. 257–292, 1996.

MEIRA, S.; GUEVARA, E. Application of SOYGRO in Argentina. In: **Applications of Systems Approaches at the Field Level**. [S.l.]: Springer, 1997. p. 235–242.

MEISNER, C.; KARNOK, K.; MCCRIMMON, J. Using crop models in a beginning crop science laboratory. **Journal of agronomic education (USA)**, 1991.

MESSINA, C.; HANSEN, J.; HALL, A. Land allocation conditioned on El Niño-Southern Oscillation phases in the Pampas of Argentina. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 60, n. 3, p. 197–212, 1999.

MISHOE, J. et al. Using crop and pest models for management applications. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 15, n. 3, p. 153–170, 1984.

MOFFAT, A. M. et al. Comprehensive comparison of gap-filling techniques for eddy covariance net carbon fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 147, n. 3, p. 209–232, 2007.

MOULIN, A.; BECKIE, H. Evaluation of the CERES and EPIC models for predicting spring wheat grain yield over time. **Canadian Journal of Plant Science**, NRC Research Press, v. 73, n. 3, p. 713–719, 1993.

MUCHENA, P.; IGLESIAS, A. Vulnerability of maize yields to climate change in different farming sectors in zimbabwe. **Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts**, American Society of Agronomy, n. climatechangean, p. 229–239, 1995.

NOUNA, B. B.; KATERJI, N.; MASTRORILLI, M. Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment. Evaluation of model performance. **European Journal of Agronomy**, Elsevier, v. 13, n. 4, p. 309–322, 2000.

ORTIZ, R. Crop simulation models as an educational tool. In: **Understanding Options for Agricultural Production**. [S.l.]: Springer, 1998. p. 383–388.

PANG, X. et al. Evaluation of nitrate leaching potential in Minnesota glacial outwash soils using the CERES-Maize model. **Journal of Environmental Quality**, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, v. 27, n. 1, p. 75–85, 1998.

PAZ, J. et al. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. **Agricultural systems**, Elsevier, v. 61, n. 1, p. 69–75, 1999.

_____. Analysis of water stress effects causing spatial yield variability in soybeans. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 41, n. 5, p. 1527, 1998.

PAZ, J.; BATCHELOR, W.; TYLKA, G. Method to use crop growth models to estimate potential return for variable-rate management in soybeans. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 44, n. 5, p. 1335, 2001.

PAZ, J. O. et al. A modeling approach to quantify the effects of spatial soybean yield limiting factors. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 44, n. 5, p. 1329, 2001.

PFEIL, E. v. et al. Calibration of the simulation model CERES-Wheat under conditions of soils with shallow watertable and temperate climate. Part 1: Limitations in the applicability of the original model and necessary modifications. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde (Germany, FR)**, 1992.

PHILLIPS, J.; CANE, M.; ROSENZWEIG, C. ENSO, seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 90, n. 1, p. 39–50, 1998.

PINNSCHMIDT, H.; BATCHELOR, W.; TENG, P. Simulation of multiple species pest damage in rice using CERES-Rice. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 48, n. 2, p. 193–222, 1995.

PIPER, E.; BOOTE, K.; JONES, J. Evaluation and improvement of crop models using regional cultivar trial data. **Applied Engineering in Agriculture**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 14, n. 4, p. 435–446, 1998.

PIPER, E. et al. The role of daily minimum temperature in modulating the development rate to flowering in soybean. **Field crops research**, Elsevier, v. 47, n. 2, p. 211–220, 1996.

PIPER, E. L. et al. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. **Crop Science**, Crop Science Society of America, v. 36, n. 6, p. 1606–1614, 1996.

PISANI, A. D. The CERES-Maize model as a potential tool for drought assessment in South Africa. **Water S. A.**, v. 13, n. 3, p. 159–164, 1987.

PODESTA, G. et al. Use of ENSO-related climate information in agricultural decision making in Argentina: a pilot experience. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 74, n. 3, p. 371–392, 2002.

PORTER, C. et al. DSSAT v4. 0 Crop Models: Overview of changes relative to DSSAT v3. 5. **University of Florida, Gainesville, USA**, 2003.

QUEMADA, M.; CABRERA, M. CERES-N model predictions of nitrogen mineralized from cover crop residues. **Soil Science Society of America Journal**, Soil Science Society of America, v. 59, n. 4, p. 1059–1065, 1995.

REICHSTEIN, M. et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. **Global Change Biology**, Wiley Online Library, v. 11, n. 9, p. 1424–1439, 2005.

RIBAS, G. G. et al. Number of leaves and phenology of rice hybrids simulated by the SimulArroz model. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 21, n. 4, p. 221–226, 2017.

_____. Acúmulo de matéria seca e produtividade em híbridos de arroz irrigado simulados com o modelo SimulArroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1907–1917, 2017.

- RITCHIE, J.; GODWIN, D.; OTTER-NACKE, S. **CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. Preliminary Documentation.** [S.l.], 1985.
- RITCHIE, J. T. et al. Cereal growth, development and yield. In: **Understanding options for agricultural production.** [S.l.]: Springer, 1998. p. 79–98.
- ROSA, H. T. et al. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1159–1165, 2015.
- ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F. N. Effects of changes in minimum and maximum temperature on wheat yields in the central US: A simulation study. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 80, n. 2, p. 215–230, 1996.
- ROYCE, F.; JONES, J.; HANSEN, J. Model-based optimization of crop management for climate forecast applications. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 44, n. 5, p. 1319, 2001.
- RUIZ-NOGUEIRA, B.; BOOTE, K.; SAU, F. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 68, n. 2, p. 151–173, 2001.
- SAARIKKO, R. A. Applying a site based crop model to estimate regional yields under current and changed climates. **Ecological Modelling**, Elsevier, v. 131, n. 2, p. 191–206, 2000.
- SADLER, E. et al. Site-specific modeling of corn yield in the SE coastal plain. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 64, n. 3, p. 189–207, 2000.
- SALAM, M. U.; JONES, J. W.; KOBAYASHI, K. Predicting nursery growth and transplanting shock in rice. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 37, n. 1, p. 65–81, 2001.
- SARKAR, R.; KAR, S. Sequence analysis of DSSAT to select optimum strategy of crop residue and nitrogen for sustainable rice-wheat rotation. **Agronomy journal**, American Society of Agronomy, v. 100, n. 1, p. 87–97, 2008.
- SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 397–403, 2013.
- SASEENDRAN, S. A. et al. Evaluation of the CERES-Rice version 3.0 model for the climate conditions of the state of Kerala, India. **Meteorological Applications**, v. 5, p. 385–392, 1998.
- SAU, F.; BOOTE, K. J.; RUIZ-NOGUEIRA, B. Evaluation and improvement of CROPGRO-soybean model for a cool environment in galicia, northwest spain. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 61, n. 3, p. 273–291, 1999.
- SAVIN, R. et al. Assessing strategies for wheat cropping in the monsoonal climate of the Pampas using the CERES-Wheat simulation model. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 42, n. 2, p. 81–91, 1995.
- SEIDL, M. et al. GIS-crop model based decision support system to evaluate corn and soybean prescriptions. **Applied Engineering in Agriculture**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 17, n. 5, p. 721, 2001.

SEXTON, P. et al. Evaluation of CROPGRO for prediction of soybean nitrogen balance in a Midwestern environment. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 41, n. 5, p. 1543, 1998.

SHARMA, H.; KUMAR, R. Simulating phenology and yield of rice using CERES-Rice model in north western Himalayas. **Indian J. Plant Physiol.**, v. 10, n. 30, p. 280–282, Jul-Set 2005.

SILVA, M. R. et al. Modelagem numérica para previsão de safra de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 7, p. 791–800, 2016.

SINGH, K. et al. Soybean (*Glycine max*) yield prediction from current and historical weather data using CROPGRO model. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, INDIAN COUNCIL OF AGRICULTURAL RESEARCH, BHAWAN PUSA, NEW DELHI 110 012, INDIA, v. 69, n. 9, p. 639–643, 1999.

SINGH, P. et al. Evaluation of the groundnut model PNUTGRO for crop response to water availability, sowing dates, and seasons. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 39, n. 2, p. 147–162, 1994.

SINGH, P.; BOOTE, K.; VIRMANI, S. Evaluation of the groundnut model PNUTGRO for crop response to plant population and row spacing. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 39, n. 2-3, p. 163–170, 1994.

SINGH, U.; GODWIN, D.; MORRISON, R. Modelling the impact of climate change on agricultural production in the South Pacific. **Global Warming-Related Effects on Agriculture and Human Health and Comfort in the South Pacific**. South Pacific Regional Environment Programme, New Guinea, pp. 521Á/537, 1990.

SINGH, U.; RITCHIE, J. T.; GODWIN, D. **A User's Guide to CERES Rice, V2. 10**. [S.l.]: International Fertilizer Development Center Muscle Shoals, AL, USA, 1993.

SINGH, U. et al. Maize modeling in Malawi: a tool for soil fertility research and development. In: **Systems approaches for agricultural development**. [S.l.]: Springer, 1993. p. 253–273.

_____. Predicting the effect of nitrogen deficiency on crop growth duration and yield. **Precision Agriculture**, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, n. precisionagric4b, p. 1379–1393, 1999.

SOSBAI. **ARROZ IRRIGADO: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2016.

SOUTHWORTH, J. et al. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Elsevier, v. 82, n. 1, p. 139–158, 2000.

STEELE, D. D.; STEGMAN, E. C.; KNIGHTON, R. E. Irrigation management for corn in the northern Great Plains, USA. **Irrigation Science**, Springer, v. 19, n. 3, p. 107–114, 2000.

STEINMETZ, S. et al. **GD Arroz: Programa Baseado em Graus-dia para Estimar a Data de Diferenciação da Panícula Visando a Adubação Nitrogenada em Cobertura**. Pelotas - RS, 2014.

STRECK, N. A. et al. **SimulArroz 1.1: um modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado**. [S.l.], 2013.

_____. Acompanhamento da safra 2012/2013 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul por modelagem numérica. **Ciência e Natura**, 2013.

SUBASH, N.; MOHAN, H. R. Evaluation of the impact of climatic trends and variability in rice-wheat system productivity using Cropping System Model DSSAT over the Indo-Gangetic Plains of India. **Agricultural and forest meteorology**, Elsevier, v. 164, p. 71–81, 2012.

SWANEY, D. et al. Real-time irrigation decision analysis using simulation. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 26, n. 2, p. 562–0568, 1983.

TAO, F. et al. Global warming, rice production, and water use in China: Developing a probabilistic assessment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 94–110, 2008.

THORNTON, P. et al. Estimating millet production for famine early warning: an application of crop simulation modelling using satellite and ground-based data in Burkina Faso. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 83, n. 1-2, p. 95–112, 1997.

_____. Application of a maize crop simulation model in the central region of Malawi. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 31, n. 2, p. 213–226, 1995.

TIMSINA, J.; CONNOR, D. J. Productivity and management of rice–wheat cropping systems: issues and challenges. **Field crops research**, Elsevier, v. 69, n. 2, p. 93–132, 2001.

TIMSINA, J.; HUMPHREYS, E. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. **Agricultural Systems**, v. 90, p. 5–31, 2006.

TIMSINA, J. et al. Cultivar, nitrogen, and moisture effects on a rice-wheat sequence: experimentation and simulation. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 90, n. 2, p. 119–130, 1998.

TRAVASSO, M.; CALDIZ, D.; SALUZZO, J. Yield prediction using the SUBSTOR-potato model under Argentinian conditions. **Potato Research**, Springer, v. 39, n. 2, p. 305–312, 1996.

TRAVASSO, M.; MAGRIN, G. Utility of CERES-Barley under Argentine conditions. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 57, n. 3, p. 329–333, 1998.

TSUJI, G. Network management and information dissemination for agrotechnology transfer. In: **Understanding Options for Agricultural Production**. [S.l.]: Springer, 1998. p. 367–381.

TSUJI, G. Y.; BALAS, S. The IBSNAT decade: ten years of endeavor at the frontier of science and technology. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, 1993.

TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. **DSSAT version 3**. [S.l.]: Citeseer, 1994.

TUBIELLO, F. N. et al. Testing CERES-Wheat with free-air carbon dioxide enrichment (FACE) experiment data: CO₂ and water interactions. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 91, n. 2, p. 247–255, 1999.

TUBIELLO, F. N.; ROSENZWEIG, C.; VOLK, T. Interactions of CO₂, temperature and management practices: simulations with a modified version of CERES-Wheat. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 49, n. 2, p. 135–152, 1995.

UEHARA, G. Technology transfer in the tropics. **Outlook on Agriculture**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 18, n. 1, p. 38–42, 1989.

VIJAYALAXMI, G. **APPLICATION OF CERES-Rice MODEL FOR EVALUATION OF PLANT DENSITIES AND AGE OF SEEDLINGS IN TRANSPLANTED RICE.** Dissertação (Master of Science in Agriculture) — ACHARYA NG RANGA AGRICULTURAL UNIVERSITY, RAJENDRANAGAR, HYDERABAD, 2014.

VIJAYALAXMI, G.; SREENIVAS, G.; RANI, P. L. Evaluation of CERES-Rice model under various plant densities and age of seedlings in transplanted rice of southern telangana zone of Telangana state, India. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 5, n. 4, p. 667–674, 2016.

VILAYVONG, S. et al. CSM-CERES-Rice model to determine management strategies for lowland rice production. **Scientia Agricola**, p. 229–236, 2015.

VOS, R. D.; MALLETT, J. Preliminary evaluation of two maize (*zea mays* l.) growth-simulation models. **South African Journal of Plant and Soil**, Taylor & Francis, v. 4, n. 3, p. 131–136, 1987.

WAFULA, B. M. Applications of crop simulation in agricultural extension and research in kenya. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 49, n. 4, p. 399–412, 1995.

WAGNER-RIDDLE, C. et al. Modeling a rye cover crop and subsequent soybean yield. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 89, n. 2, p. 208–218, 1997.

WALDOW, D. A. G. et al. Ensaio de valor de cultivo e uso (VCU) de híbridos avaliados pelo Instituto Rio Grandense do Arroz na safra 2012/13. In: **VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 8.

WALTER, L. C. et al. Adaption and evaluation of the InfoCrop model for simulating grain yield of irrigated rice. **Engenharia Agrícola**, Directory of Open Access Journals, v. 32, n. 3, p. 510–521, 2012.

WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, G. Simulating effects of genes for physiological traits in a process-oriented crop model. **Agronomy Journal**, American Society of Agronomy, v. 88, n. 3, p. 416–422, 1996.

WHITE, J. W. et al. Evaluation of the dry bean model BEANGRO v1. 01 for crop production research in a tropical environment. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 31, n. 2, p. 241–254, 1995.

WILKERSON, G. et al. Modeling soybean growth for crop management. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 26, n. 1, p. 63–0073, 1983.

WOLF, J. et al. Comparison of wheat simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. **Climate Research**, JSTOR, p. 253–270, 1996.

XIONG, W. et al. Potential impacts of climate change and climate variability on China's rice yield and production. **Climate Research**, v. 40, n. 1, p. 23–35, 2009.

_____. A crop model cross calibration for use in regional climate impacts studies. **Ecological Modelling**, Elsevier, v. 213, n. 3, p. 365–380, 2008.

YAO, F. et al. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. **Climatic Change**, Springer, v. 80, n. 3, p. 395–409, 2007.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. **Climate and rice**, International Rice Research Institute Los Baños., Philippines, v. 20, p. 471–494, 1976.

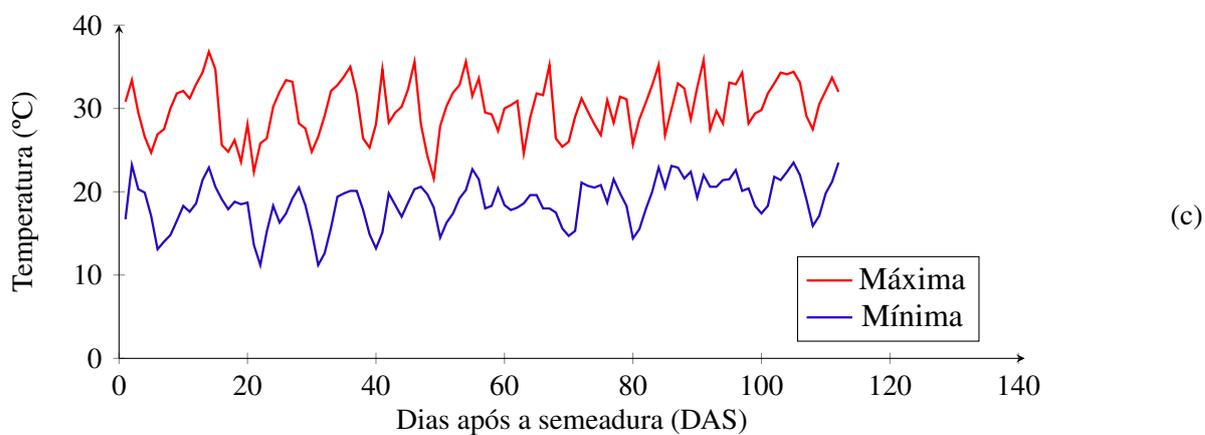
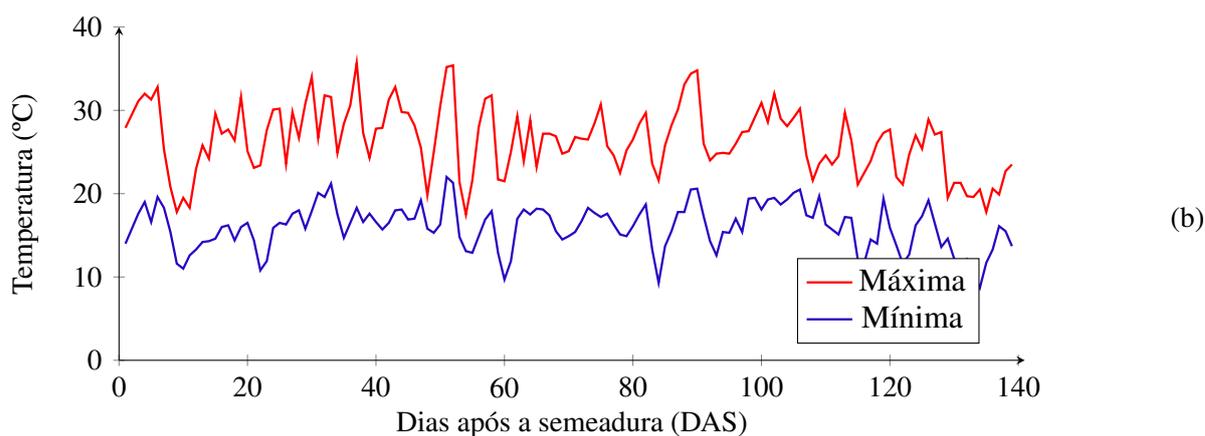
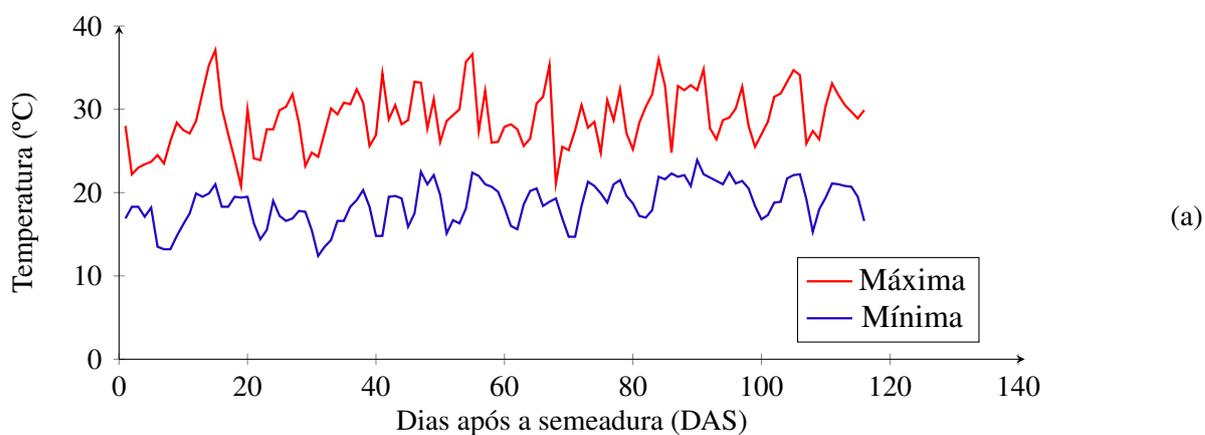
YUN, J. I. Predicting regional rice production in South Korea using spatial data and crop-growth modeling. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 77, n. 1, p. 23–38, 2003.

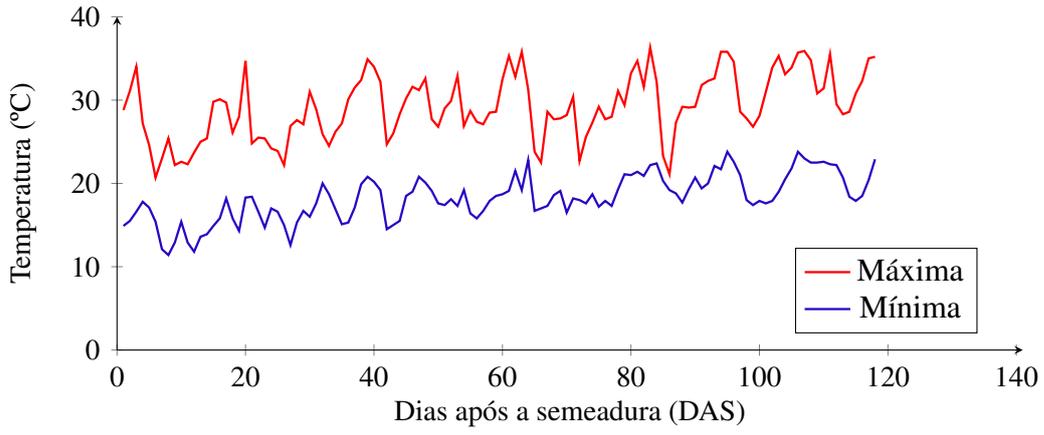
ZALUD, Z. et al. Estimation of winter wheat nitrogen stress using the CERES crop model. **Rostlinna Vyroba-UZPI (Czech Republic)**, 2001.

ZALUD, Z. et al. Change of spring barley production potential using crop model CERES-Barley. **Rostlinná Vyroba**, Ústav Zemědělský a Potravinářských Informací, v. 46, n. 9, p. 423–428, 2000.

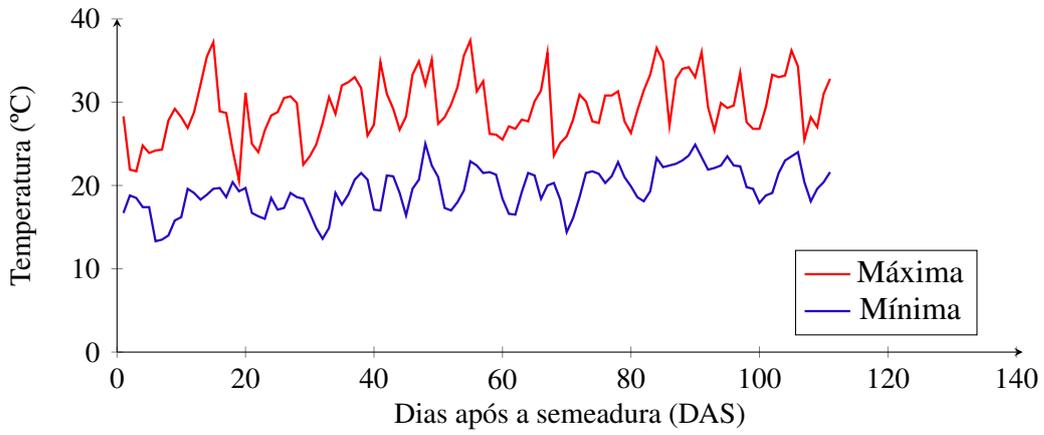
APÊNDICE A – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DIÁRIA DURANTE O PERÍODO SIMULADO DOS EXPERIMENTOS

Figura 12 – Temperatura máxima e mínima durante o período dos experimentos.

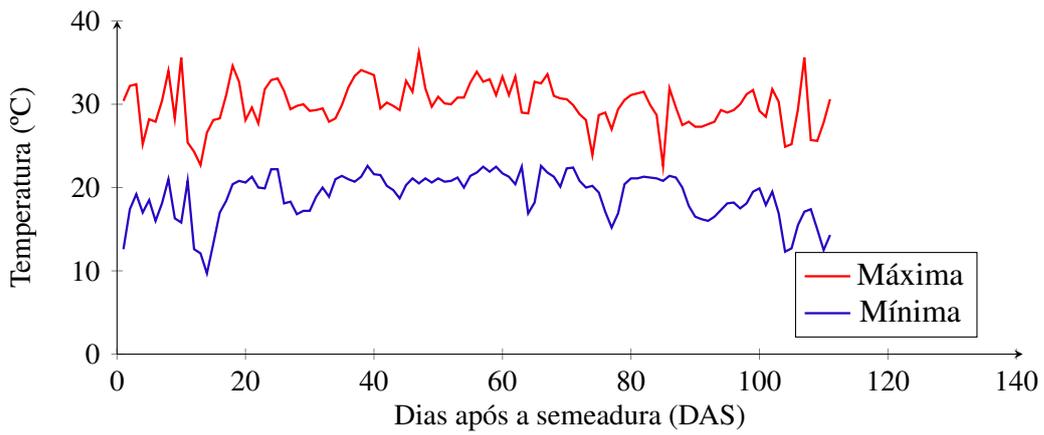




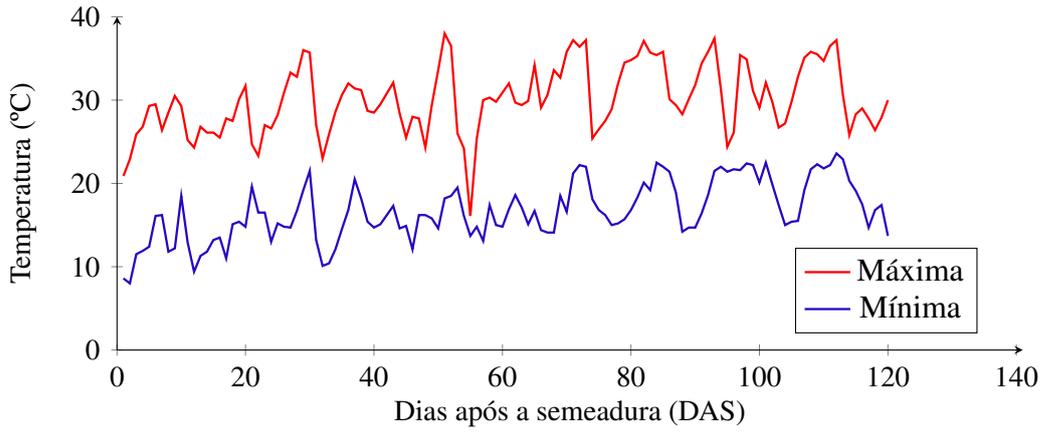
(d)



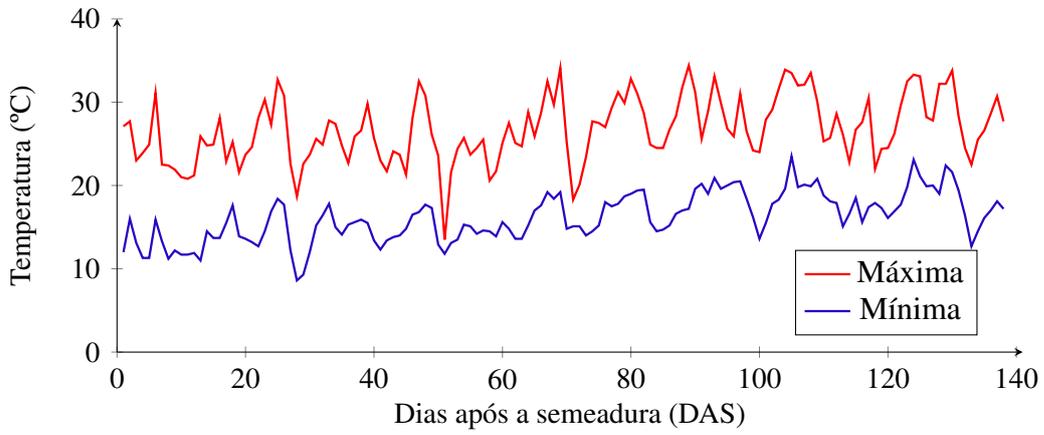
(e)



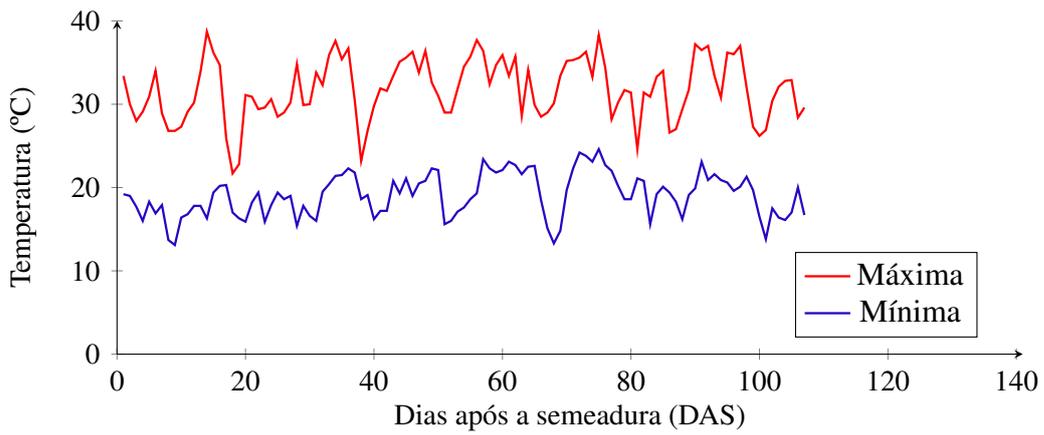
(f)



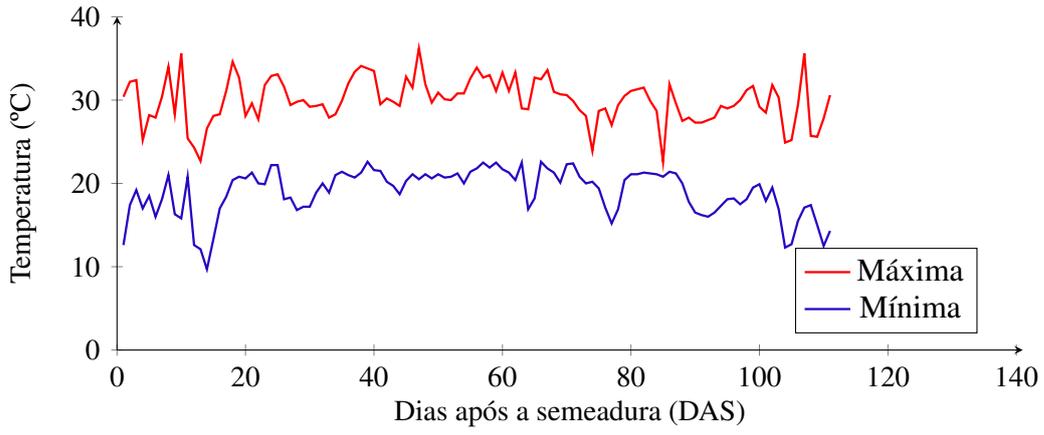
(g)



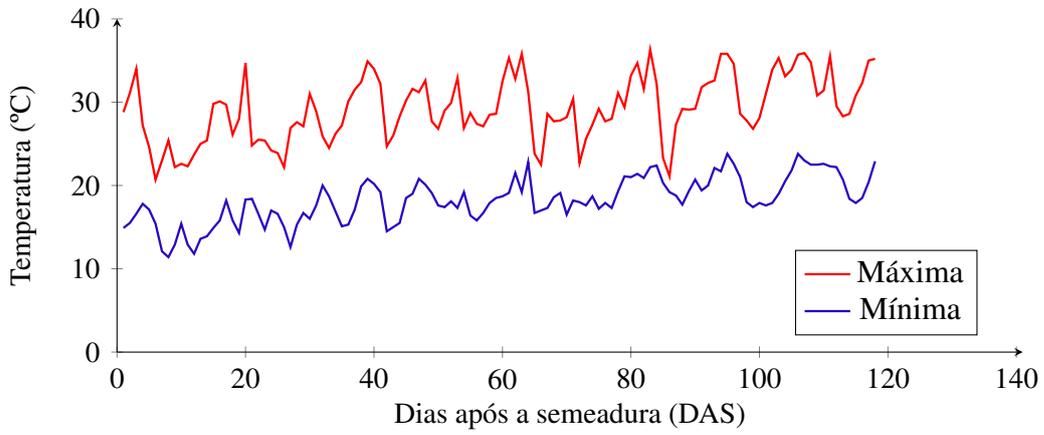
(h)



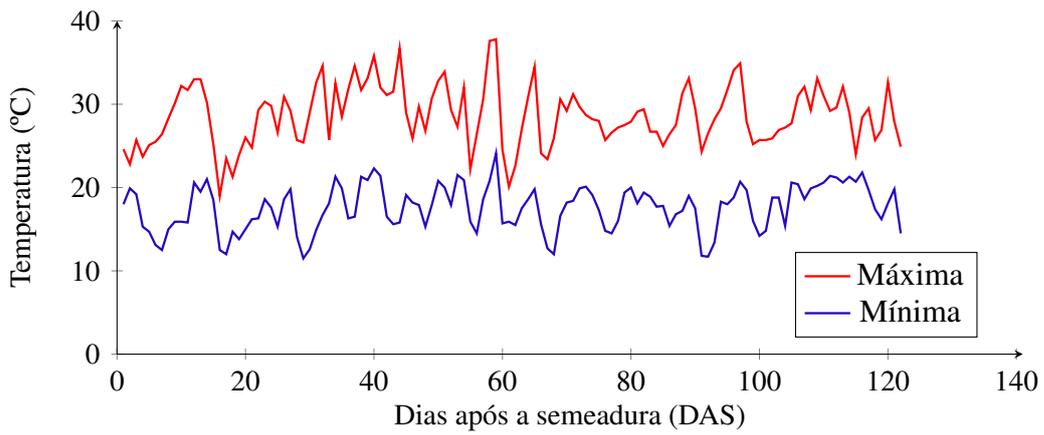
(i)



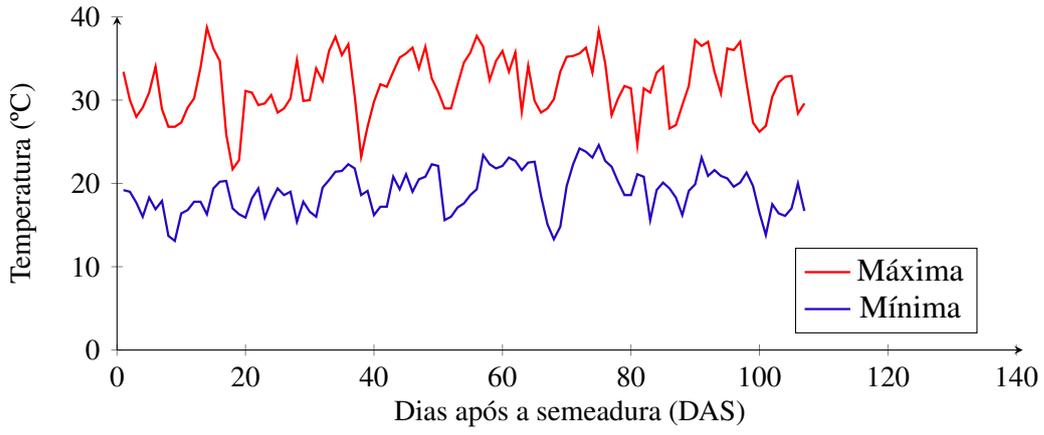
(j)



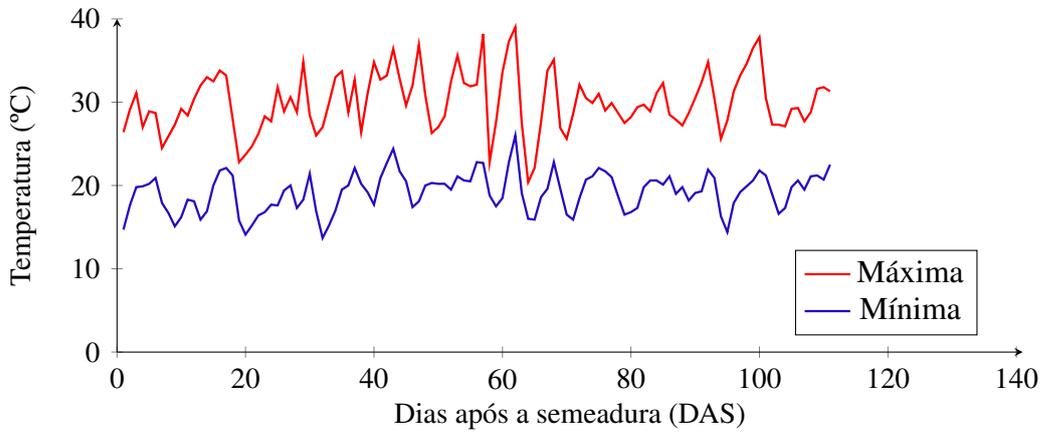
(k)



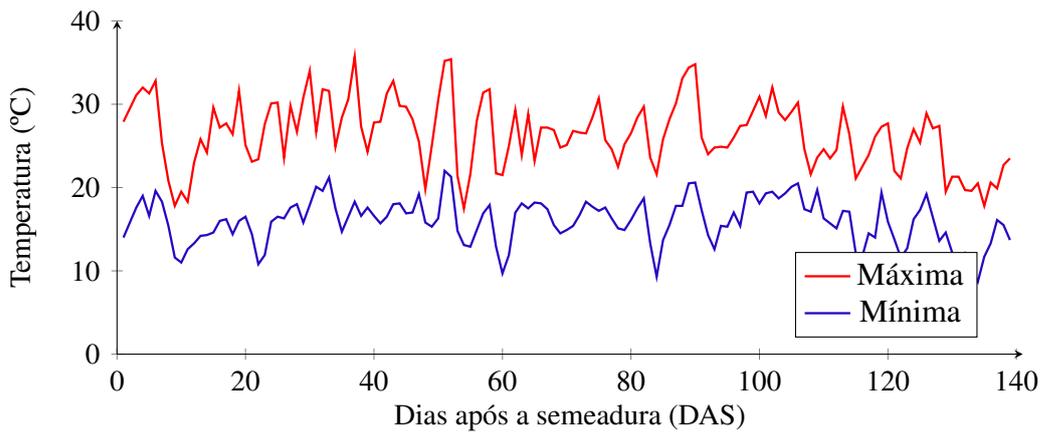
(l)



(m)



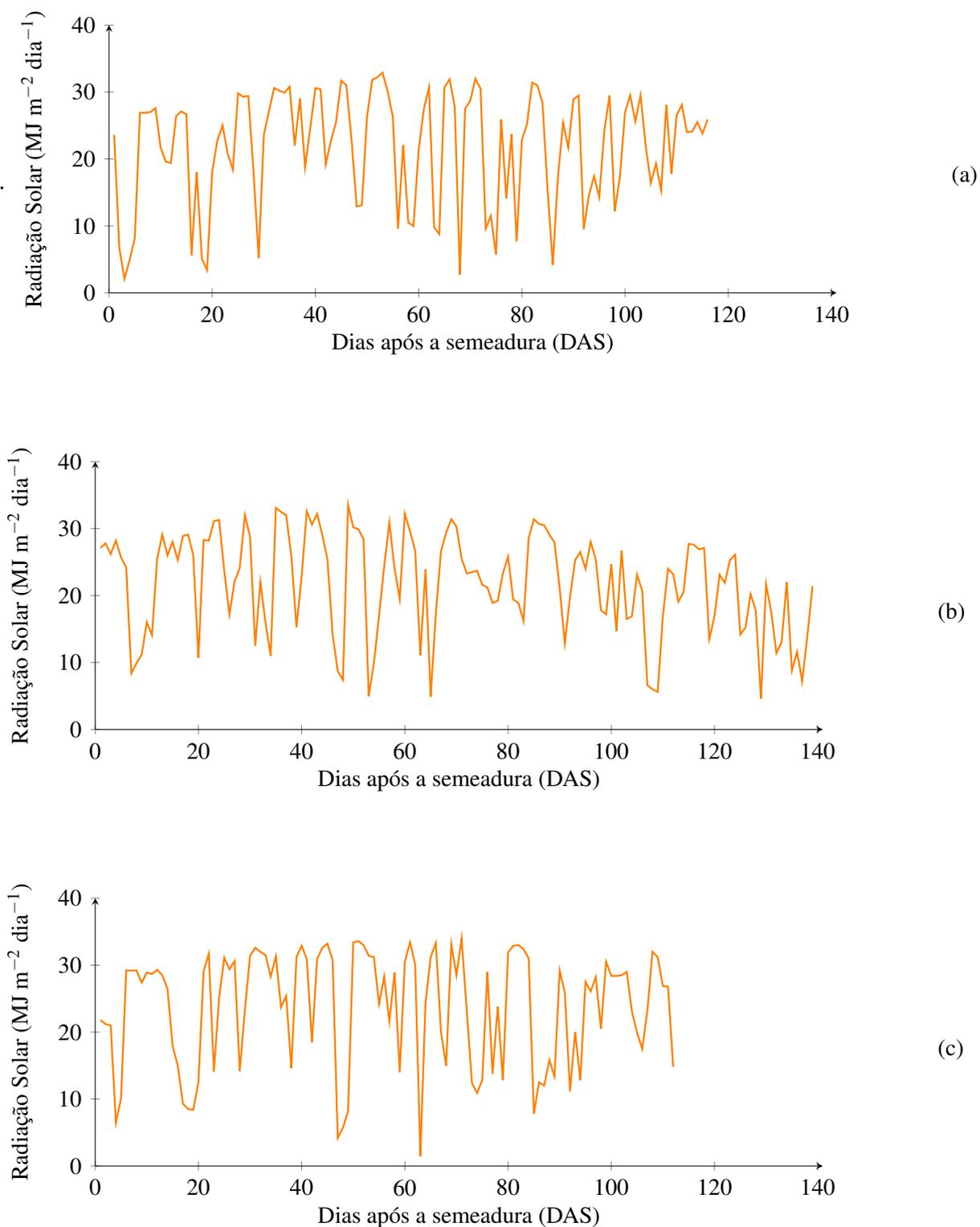
(n)

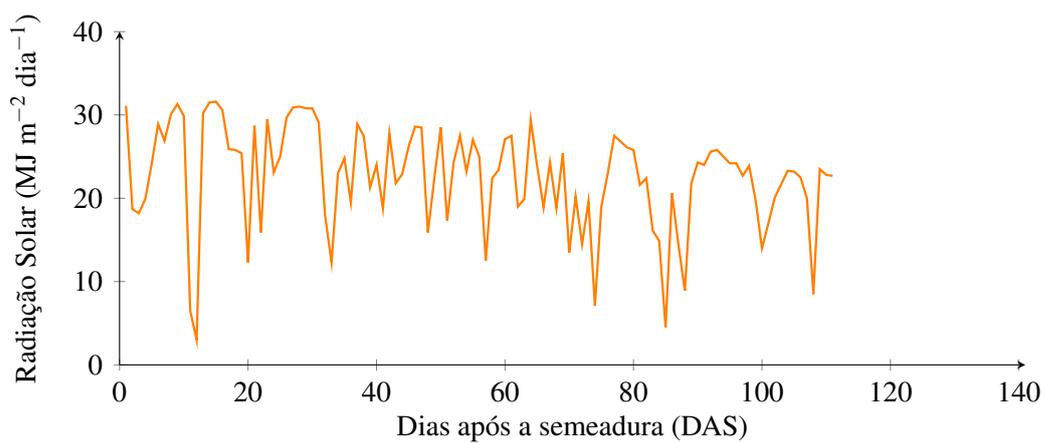
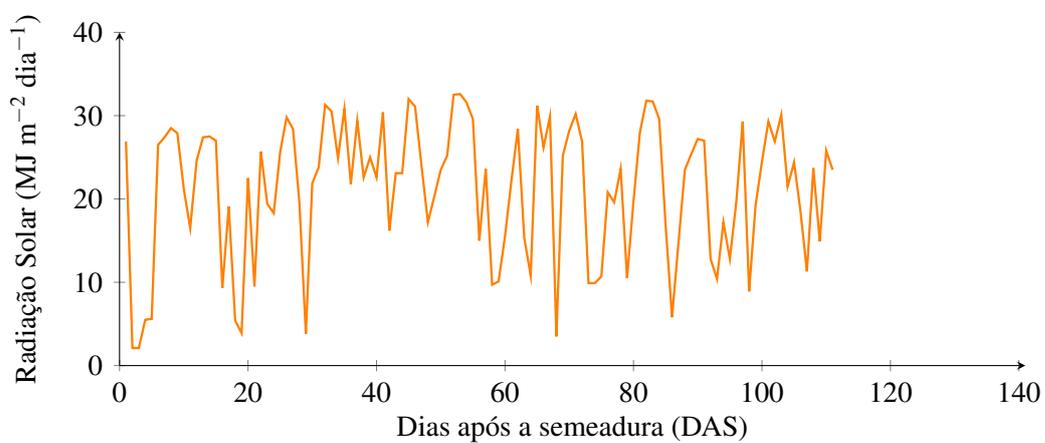
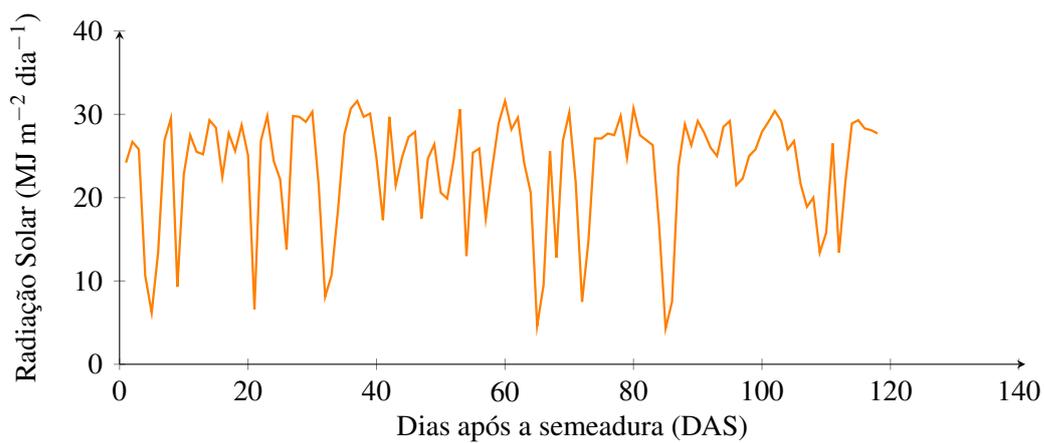


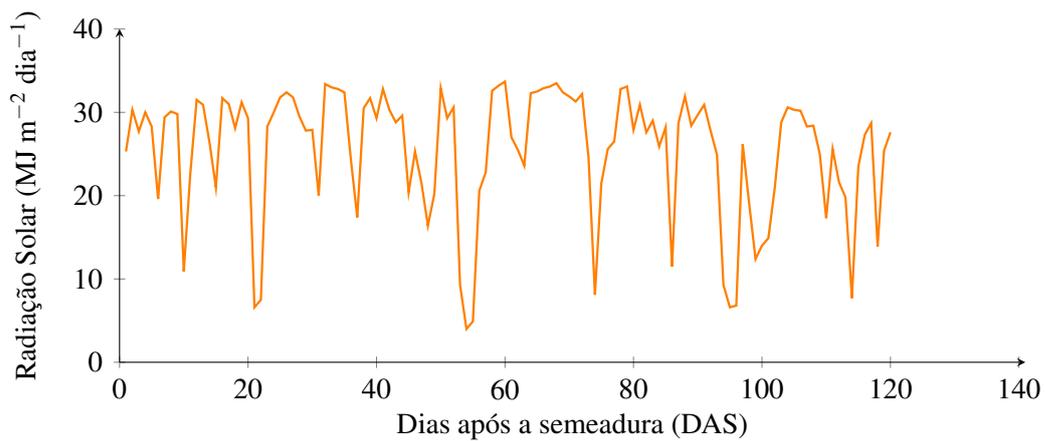
(o)

APÊNDICE B – RADIAÇÃO SOLAR DURANTE O PERÍODO DOS EXPERIMENTOS COM A CULTIVAR IRGA424

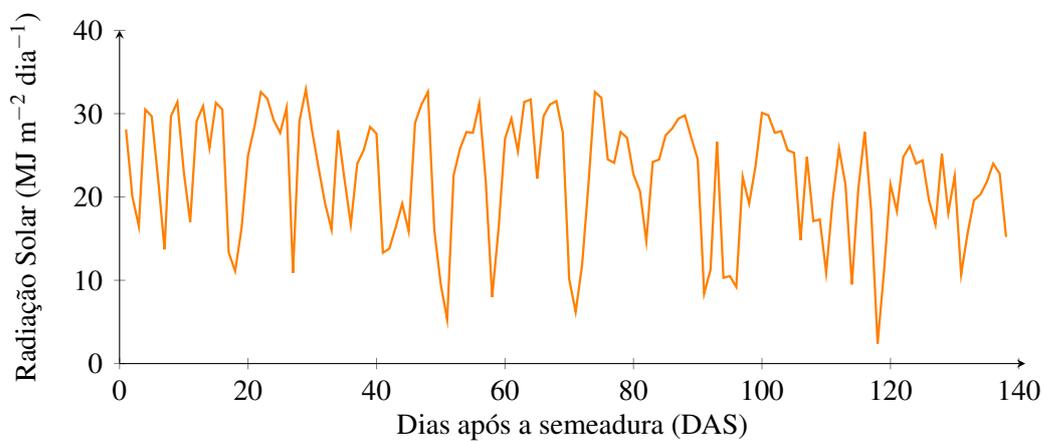
Figura 13 – Radiação solar durante o período dos experimentos



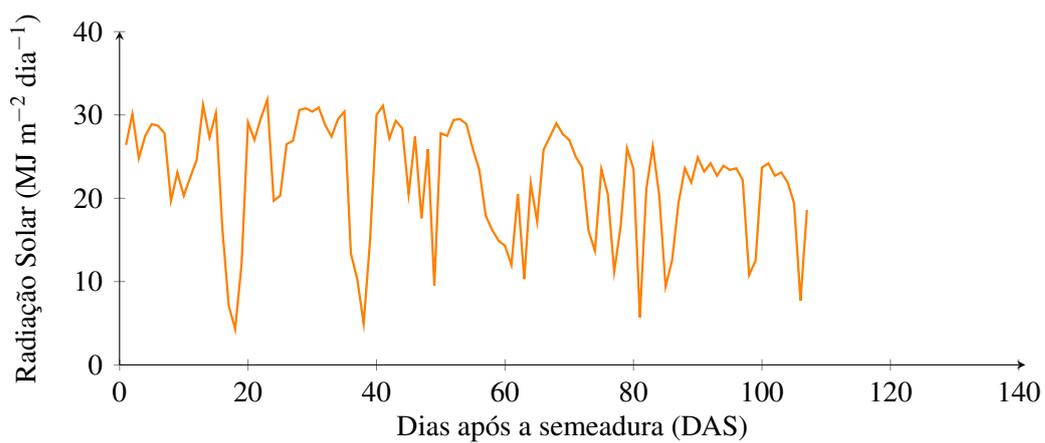




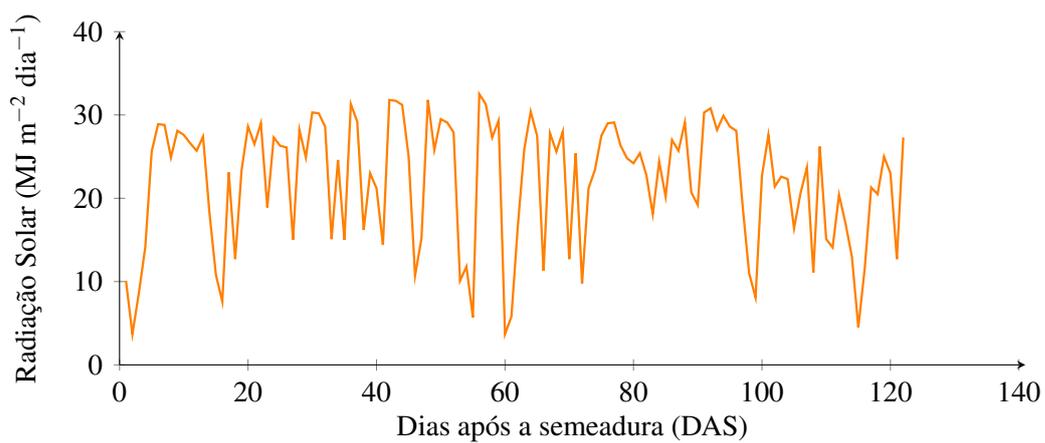
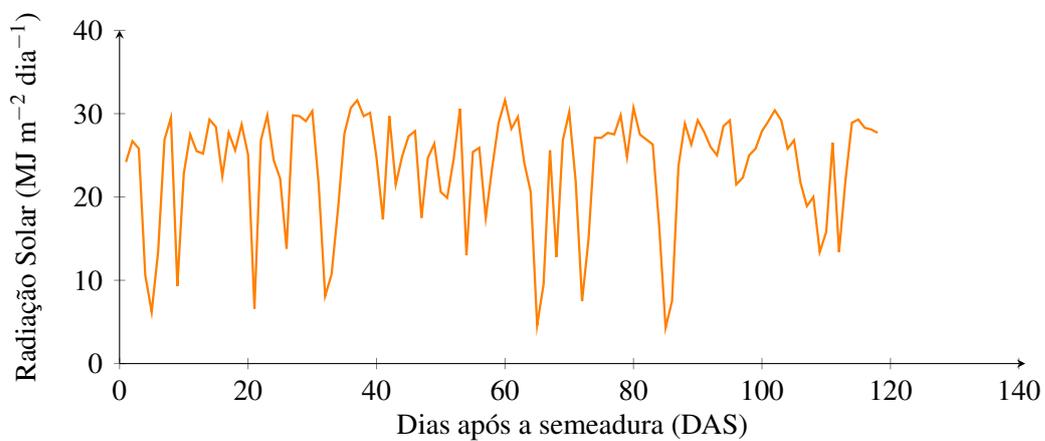
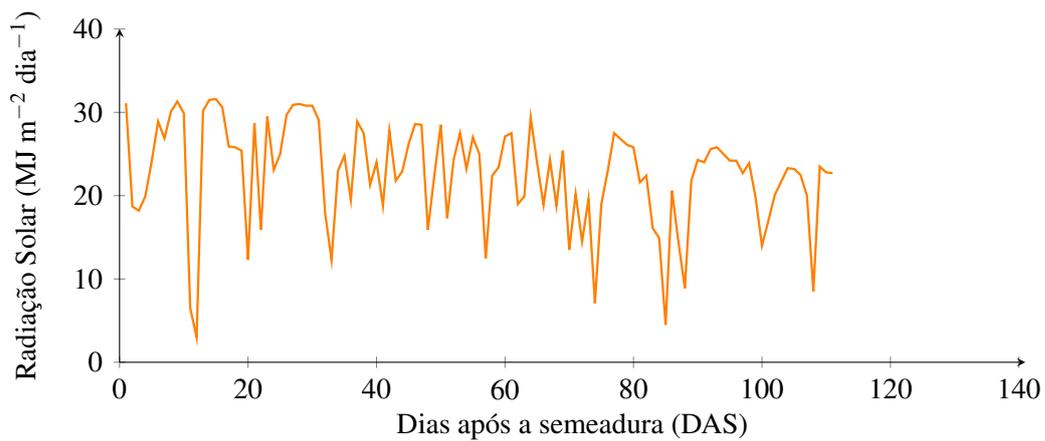
(g)

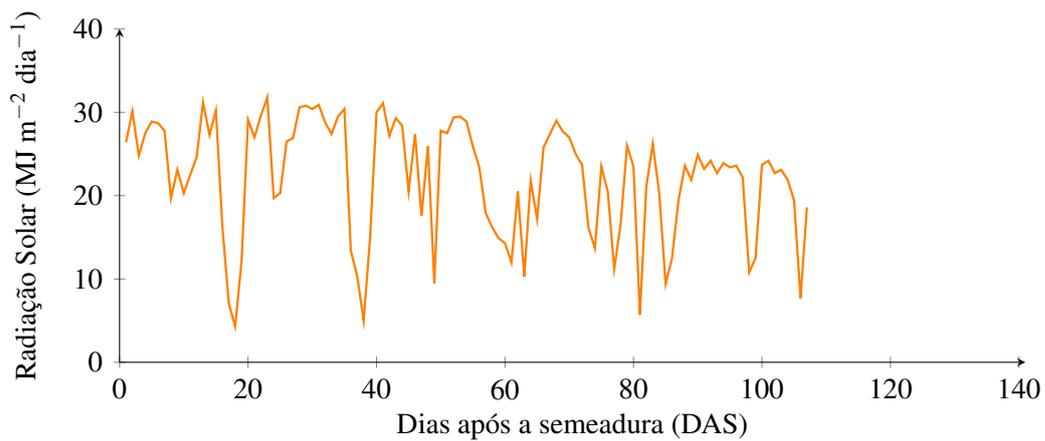


(h)

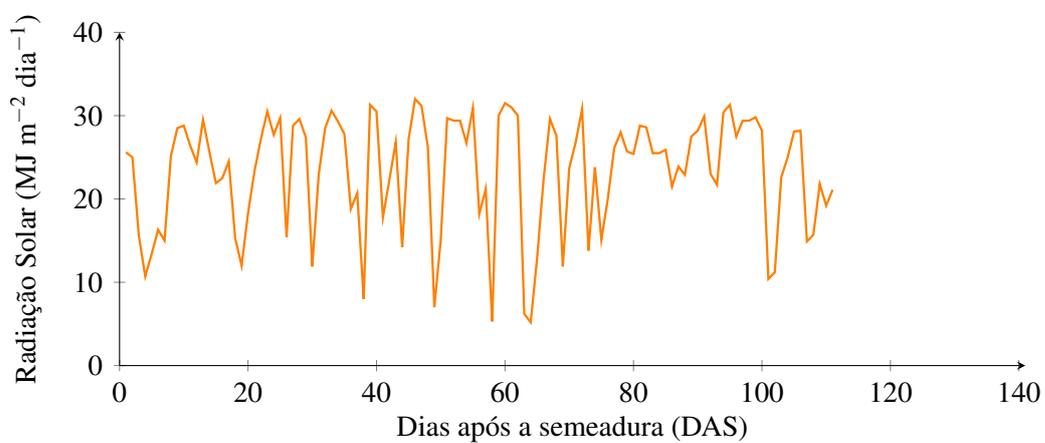


(i)

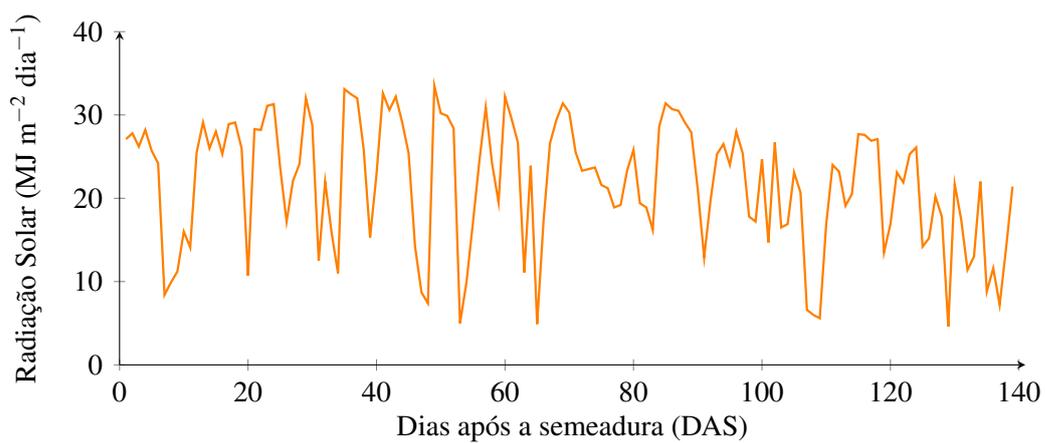




(m)



(n)



(o)