

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

UM SISTEMA INTEGRADO  
DE MODELAGEM DE  
CULTIVOS E DOENÇAS:  
BRUSONE NO TRIGO

**Jorge Luis Boeira Bavaresco**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Computação  
Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

**Orientador: Prof. PhD. José Mauricio Cunha Fernandes**

**Coorientador: Prof. Dr. Willington Pavan**

Passo Fundo

2015



CIP – Catalogação na Publicação

---

B353s Bavaresco, Jorge Luis Boeira  
Um sistema integrado de modelagem de cultivos e  
doenças : Brusone no trigo / Jorge Luis Boeira Bavaresco.  
– 2015.  
86 f. : il., color. ; 29,7 cm.

Orientador: Prof. PhD. José Maurício Cunha Fernandes.  
Coorientador: Prof. Dr. Willington Pavan.  
Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –  
Universidade de Passo Fundo, 2015.

1. Trigo – Doenças e pragas. 2. Processo decisório.  
3. Modelagem de sistemas. 4. Simulação de sistemas.  
I. Fernandes, José Maurício Cunha, orientador. II. Pavan,  
Willington, coorientador. III. Título.

CDU: 004.414.23

---

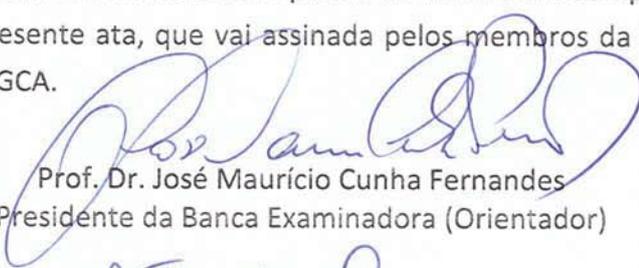
Catalogação: Bibliotecária Schirlei T. da Silva Vaz - CRB 10/1364

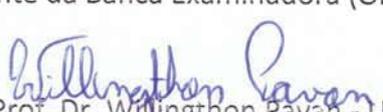


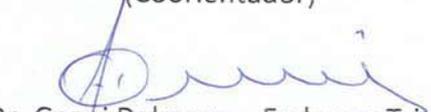
**ATA DE DEFESA DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO**

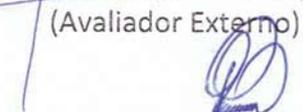
**JORGE LUIS BOEIRA BAVARESCO**

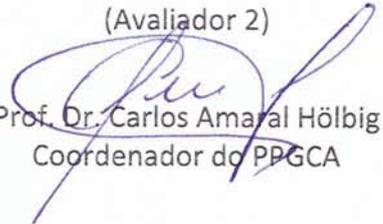
Aos vinte e cinco dias do mês de novembro do ano dois mil e quinze, às 08 horas, realizou-se, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências, prédio B5, da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso **“Um sistema integrado de modelagem de cultivos e doenças: Brusone no Trigo”**, de autoria de **Jorge Luis Boeira Bavaresco**, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA/UPF. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores José Maurício Cunha Fernandes, Willingthon Pavan, Rafael Rieder e Genei Dalmago. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.

  
Prof. Dr. José Maurício Cunha Fernandes  
Presidente da Banca Examinadora (Orientador)

  
Prof. Dr. Willingthon Pavan - UPF  
(Coorientador)

  
Dr. Genei Dalmago – Embrapa Trigo  
(Avaliador Externo)

  
Prof. Dr. Rafael Rieder – UPF  
(Avaliador 2)

  
Prof. Dr. Carlos Amarel Hölbig  
Coordenador do PPGCA



À minha esposa Neuzer, pelo amor, inspiração e incentivo. Amo você.

Aos meus pais, João e Anita, pelo amor, carinho e valores que me deram ao longo da minha vida.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pela saúde e força que me deu.

Gostaria de agradecer a minha família, que é a base de tudo em minha vida por entenderem a minha ausência. Agradecer a minha esposa Neuzer, pela ajuda, compreensão e carinho em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais, João e Anita, pelo apoio e carinho.

Agradeço ao professor e amigo José Mauricio Cunha Fernandes, pelo tempo dedicado, pelos ensinamentos na orientação, por acreditar no trabalho e por sua empolgação e vibração pela pesquisa científica. Agradeço ao amigo e co-orientador Willingthon Pavan, por compartilhar seus conhecimentos e por auxiliar-me no mundo da pesquisa.

Agradeço ao colega e amigo Alexandre Tagliari Lazzaretti, por compartilhar a sua pesquisa e conhecimentos, sem os quais este trabalho não seria possível.

Agradeço ao Instituto Federal Sul-Riograndonense pelo apoio financeiro e por tornar possível o meu sonho de trabalhar como professor e compartilhar meus conhecimentos.

Agradeço aos professores do PPGCA, pelos conhecimentos e apoio.

Agradeço aos meus colegas do PPGCA, aos meus colegas do IFSul e aos meus colegas do grupo Mosaico pelo apoio e companheirismo.

Muito obrigado a todos!



“Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a fazer.”  
**(Alan Turing)**



# UM SISTEMA INTEGRADO DE MODELAGEM DE CULTIVOS E DOENÇAS: BRUSONE NO TRIGO

## RESUMO

A brusone causada pelo fungo *Magnaporthe oryzae* é uma doença que causa perdas consideráveis no trigo e limita a expansão desse cereal no Brasil. Como o trigo possui uma importância econômica relevante, prever epidemias da brusone no trigo ou fornecer informações que auxiliem no entendimento e no manejo dessa doença atende uma demanda do setor produtivo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta para auxiliar à tomada de decisão para o manejo do risco da brusone do trigo, facilitando a execução e visualização de modelos de simulação, abstraído a grande complexidade envolvida em tais processos. Obteve-se como resultado uma ferramenta que possibilita a utilização de modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas pela web, de forma fácil e rápida. Outro resultado obtido foi que a ferramenta tornou possível executar experimentos planejados para localidades do estado do Paraná, no Brasil, nos anos de 2001 a 2012 e para o estado do Kentucky nos Estados Unidos, nos anos de 2009 a 2014, fornecendo informações sobre os surtos da doença nestes dois países. Dessa forma, o modelo de simulação da brusone, juntamente com a ferramenta web para execução de simulações do crescimento e desenvolvimento de culturas, que foram desenvolvidos nesta pesquisa se tornam relevantes para as áreas da computação, simulação e agronomia.

Palavras-Chave: Brusone do trigo, Modelos de simulação, Simulação baseada na web, Tomada de decisão.



# AN INTEGRATED FARMING MODELING AND DISEASE: WHEAT BLAST

## ABSTRACT

The blast is a disease that causes considerable losses in wheat and slows down the advance of this crop in Brazil. As wheat has a significant economic importance, predicting blast epidemics on wheat or providing information to assist the understanding of this disease, it is useful for the field of agronomy. Thus, the aim of this study is to develop a tool to assist decision making for the management of the risk of wheat blast, facilitating the implementation and visualization of disease simulation models and pests in crops, leaving aside the great complexity involved in such processes and providing useful information. The research has as specific objectives the developing of a web tool to use models of simulation and assessment of the risk of blast epidemics in Brazil and the United States. It was obtained results in a tool that allows the use of simulation of the growth and development of the crops web designs easily and quickly. Another result was that the tool made it possible to perform experiments planned for the state of Paraná locations in Brazil, in the years 2001-2012 and for the state of Kentucky in the United States in the years 2009-2014, providing information on outbreaks of disease in these two countries. Thus, the simulation model of the wheat blast, along with the web tool for running simulations of the growth and development of crops that have been developed in this research become relevant to the areas of computing, simulation and agronomy.

Keywords: Wheat Blast, Simulation models, Web-based simulation, Decision making.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Opções de arquitetura de simulação baseada na web. Autor : [1] . . . . .	33
Figura 2.	Arquitetura AgroDB - Módulo Experiment. Autor: [4] . . . . .	37
Figura 3.	Módulo <i>crop</i> . Autor: [4] . . . . .	39
Figura 4.	Módulo <i>soil</i> . Autor: [4] . . . . .	39
Figura 5.	Módulo <i>weather</i> . Autor: [4] . . . . .	40
Figura 6.	Módulo <i>experiments-prepare</i> . Autor: [4] . . . . .	41
Figura 7.	Submódulo <i>experiments-execution</i> . Autor: [4] . . . . .	41
Figura 8.	Arquitetura do software. . . . .	47
Figura 9.	Diagrama de casos de uso relacionados a experimentos. . . . .	48
Figura 10.	Diagrama de casos de uso gerais. . . . .	50
Figura 11.	Diagrama de componentes. . . . .	51
Figura 12.	Tela de listagem de experimentos. . . . .	55
Figura 13.	Tela de edição de experimentos. . . . .	55
Figura 14.	Visualização de mapas com <i>Shiny</i> . . . . .	56
Figura 15.	Visualização de gráficos com <i>Shiny</i> . . . . .	56
Figura 16.	Tela dos dados principais do cadastro do experimento. . . . .	61
Figura 17.	Tela das datas do experimento. . . . .	61
Figura 18.	Tela dos cultivares do experimento. . . . .	62
Figura 19.	Tela das datas de semeadura do experimento. . . . .	62
Figura 20.	Tela das localidades do experimento. . . . .	63
Figura 21.	Tela dos anos do experimento. . . . .	63
Figura 22.	Arquivo <i>OVERVIEW.OUT</i> . . . . .	64
Figura 23.	Tela dos resultados desejados. . . . .	64
Figura 24.	Tela dos parâmetros de controle do experimentos. . . . .	65
Figura 25.	Tela das condições iniciais do solo. . . . .	65
Figura 26.	Tela dos fertilizantes. . . . .	66
Figura 27.	Tela dos parâmetros para execução do experimento. . . . .	66
Figura 28.	Visualização dos resultados. . . . .	67
Figura 29.	Aba da aplicação <i>Shiny</i> com mapa. . . . .	68
Figura 30.	Aba da aplicação <i>Shiny</i> com dados tabulares. . . . .	68
Figura 31.	Aba da aplicação <i>Shiny</i> com gráfico do inóculo potencial . . . . .	69
Figura 32.	Aba da aplicação <i>Shiny</i> com gráfico da incidência da brusone. . . . .	69

Figura 33.	Aplicação <i>Shiny</i> com gráficos para o estado do Paraná no Brasil. . . . .	70
Figura 34.	Aplicação <i>Shiny</i> com gráficos para o estado do Kentucky nos Estados Unidos. . . . .	71
Figura 35.	Aplicação <i>Shiny</i> com mapa de risco para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos. . . . .	71
Figura 36.	Aplicação <i>Shiny</i> com mapa de risco para o Estado do Paraná no Brasil. .	72
Figura 37.	Visualização dos dados do mapa de risco para o Estado do Paraná no Brasil.	72
Figura 38.	Gráfico do inóculo potencial dos experimentos do Estado do Paraná por época. . . . .	73
Figura 39.	Gráfico do inóculo potencial dos experimentos do Estado do Paraná por ano. . . . .	74
Figura 40.	Gráfico da incidência da brusone dos experimentos do Estado do Paraná por ano. . . . .	74
Figura 41.	Gráfico do inóculo potencial de todos os experimentos por ano para o Estado do Kentucky. . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Tecnologias e recursos utilizados . . . . .	52
Tabela 2.	Pseudo código da função da carga de inóculo. . . . .	58
Tabela 3.	Pseudocódigo da função que verifica se o inóculo gera risco de infecção. . . . .	58
Tabela 4.	Pseudocódigo da função CB. . . . .	59
Tabela 5.	Pseudo código da função do risco. . . . .	59
Tabela 6.	Definição dos experimentos do estudo de caso. . . . .	60
Tabela 7.	Tempo de execução dos experimentos . . . . .	67
Tabela 8.	Definição do experimento do estudo de caso para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos. . . . .	69



## LISTA DE SIGLAS

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SQL – *Structured Query Language*

PL/PGSQL – Linguagem procedural SQL

PL/R – Linguagem procedural para linguagem R

WBS – *Web Based Simulation*

WWW – *World Wide Web*

APSIM – *Agricultural Production Systems sIMulator*

IBSNAT – *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*

ICASA – *International Consortium for Agricultural Systems Applications*

DSSAT – *Decision Support System for Agrotechnology Transfer*

JSF – *Java Server Faces*

SGBDOR – Sistema Gerenciador de Banco de Dados Objeto-Relacional

JCM – Máquina Virtual Java

SE – *Standard Edition*

EE – *Enterprise Edition*

ME – *Micro Edition*

API – *Application Programming Interface*

JVM – *Java Virtual Machine*

JPA – *Java Persistence API*

JTA – *Java Transaction API*

EJB – *Enterprise Java Beans*

JMS – *Java Message Service*

JCP – *Java Community Process*

MVC – *Model View Controller*

REST – *REpresentational State Tranfer*

PDA – *Personal Digital Assistant*

HLA – *High Level Architecture*

DOD – Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América

DIS – *Distributed Interactive Simulation*

ALSP – *Aggregate Level Simulation Protocol*

DMSO – *Defence Modelling and Simulation Office*

SOA – *Service-Oriented Architecture*

POJO – *Plain Old Java Objects*

XHTML – *eXtensible Hypertext Markup Language*

PDF – *Portable Document Format*

ENSO – *El Niño Southern Oscillation*

UML – *Unified Modeling Language*

CDMS – *Crop and Disease Modeling System*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
1.1	PROBLEMA	26
1.2	HIPÓTESES	26
1.3	JUSTIFICATIVA	26
1.4	OBJETIVOS	27
1.4.1	<b>Objetivo geral</b>	27
1.4.2	<b>Objetivos Específicos</b>	27
1.5	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	27
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>29</b>
2.1	MODELOS DE SIMULAÇÃO	29
2.1.0.1	CROPSIM	30
2.2	SIMULAÇÃO BASEADA NA WEB	31
2.3	TRIGO	33
2.3.1	<b>A importância econômica do trigo</b>	34
2.3.2	<b>O trigo no Brasil</b>	35
2.3.3	<b>Brusone no trigo</b>	35
2.4	AGRODB	36
<b>3</b>	<b>UM SISTEMA INTEGRADO DE MODELAGEM DE CULTIVOS E DO- ENÇAS: BRUSONE NO TRIGO</b>	<b>43</b>
3.1	VISÃO GERAL DO SISTEMA	46
3.2	PROJETO	47
3.2.1	<b>Requisitos</b>	48
3.2.2	<b>Arquitetura</b>	50
3.2.3	<b>Ambiente e tecnologias utilizadas</b>	52
3.3	COMPONENTES DO SISTEMA	53
3.3.1	<b>AgroDB</b>	53
3.3.2	<b>Modelos de Simulação</b>	53
3.3.2.1	CROPSIM	53
3.3.2.2	Modelo da Brusone no trigo	53
3.3.3	<b>Camada de modelo</b>	54

3.3.4	<b>Camada de controle</b> .....	54
3.3.5	<b>Camada de visão</b> .....	54
3.3.5.1	Sistema WEB .....	55
3.3.5.2	Visualização de dados com Shiny .....	56
3.3.6	<b>Servidor GlassFish</b> .....	57
3.3.7	<b>Shiny Server</b> .....	57
3.4	RISCO DE EPIDEMIAS DA BRUSONE DO TRIGO .....	57
3.5	ESTUDO DE CASO .....	60
3.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	72
3.7	TRABALHOS FUTUROS .....	76
3.8	CONCLUSÃO .....	76
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>79</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A tomada de decisões é considerada um dos pilares da administração moderna, e se baseia na filosofia da qualidade total. Como em outras atividades de risco, a agricultura dependente de vários fatores para alcançar o sucesso desejado, o que acaba obrigando produtores e técnicos que sejam produtivos e competitivos para alcançar seus objetivos. A correta tomada de decisões representa a eficiência e a competitividade no setor agrícola.

A informação pode ser a principal matéria prima para a tomada de decisão. É por meio dela que se obtém subsídios para tomar as decisões de como tratar ou reagir aos riscos e as incertezas. O uso dessa informação requer ferramentas de investigação, face a complexidade dos fatores normalmente encontrados, que auxiliem no desenvolvimento do raciocínio sistemático-lógico.

Modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas apresentam-se como uma metodologia de ampla aplicação para a tomada de decisão, constituindo-se em um instrumento de auxílio aos gestores agrícolas, subsidiando a elaboração de sistemas de manejo voltados à prevenção e controle de riscos. Esses são programas de computador que podem utilizar como entrada dados meteorológicos observados, prognósticos de tempo e clima, e dados de experimentos, processando-os e apresentando uma análise matemática dos riscos e oportunidades.

A previsão de doenças e pragas podem auxiliar os agricultores e técnicos, por exemplo, a determinar quando utilizar agrotóxicos ou se estes serão pulverizados. Nesse sentido, muitos estudos para gerar informação sobre previsão de doenças em plantas com base em dados meteorológicos foram realizados [6]. O uso de sistemas de informação geográfica (SIG), juntamente com modelos de simulação para análise de dados de clima, também podem trazer contribuições na melhoria da resolução temporal e espacial de dados meteorológicos, e conseqüentemente, fazer projeções de doenças ou pragas de plantas aplicáveis à gestão na prática.

A construção de modelos de simulação é visto na comunidade da simulação como um problema fundamentalmente difícil [7]. De acordo com Kuljis e Paul [8] e Wang e Liao [9], a simulação é, e sempre foi, uma grande área de aplicação especialista, com um elevado grau de dificuldade. Iniciantes em simulação muitas vezes gastam tempo acumulando conhecimento e experiência para superar a complexidade técnica de simulação [10]. Para usuários experientes a construção, a execução e a análise de um modelo de simulação pode se tornar um processo propenso a muitos erros [11].

Um dos problemas ao se utilizar modelos de simulação, normalmente se dá ao fato de que são sistemas extremamente complexos e passíveis de utilização por pessoas dotadas de conhecimento no uso das tecnologias envolvidas. Outro problema, que esta pesquisa visa solucionar, é como incorporar os modelos de simulação em sistemas de suporte a tomada de decisão para uso de produtores e técnicos.

Dessa forma, o desenvolvimento de um sistema de suporte a tomada de decisão, de fácil utilização, e que permita ao usuário final criar experimentos e visualizar os seus resultados de forma rápida e de qualquer local, torna-se relevante.

## 1.1 PROBLEMA

Como desenvolver uma ferramenta capaz de mensurar o risco e o rendimento de grãos esperado de cultivos agrícolas em diferentes combinações de manejo e condições edafoclimáticas por meio de simulação computacional.

## 1.2 HIPÓTESES

- a) Existem informações e dados disponíveis em forma de uma base de dados com as características necessárias para executar os modelos de simulação de cultivos.
- b) É possível atender as necessidades dos usuários com uma plataforma tecnológica construída a partir do uso das ferramentas mais apropriadas.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A agricultura é uma atividade influenciada por fatores como o ambiente de exposição e o manejo dispensado aos sistemas de produção. Sendo assim, o ambiente de exposição sofre a influência de fatores meteorológicos como precipitação pluvial e radiação solar, e o resultado de uma determinada cultura, positivo ou negativo, pode ser avaliado pela experimentação agrícola convencional por meio da identificação e quantificação de fatores relevantes no desempenho das culturas. Entretanto, para incrementar a qualidade dos estudos utilizam-se experimentos físicos com um grande número de fatores, o que resulta em dificuldades na condução, na análise e na interpretação do experimento, custos elevados, além de um período de tempo grande para obtenção de resultados consistentes.

Uma alternativa para os experimentos físicos pode ser as simulações computacionais. Os modelos matemáticos e simuladores aplicados à pesquisa agropecuária permitem ao usuário simular uma representação limitada do sistema real. Dessa forma, pode-se operar um modelo do sistema com a possibilidade de criação de cenários alternativos para o problema em questão, permitindo o seu entendimento em situações atípicas ou não visualizadas de forma prática. Essa possibilidade permite a realização de testes laboratoriais ou de campo mais direcionados, levando em consideração os resultados da simulação reduzindo os custos e avaliando o impacto ambiental das práticas agrícolas em estudo. Os modelos e simuladores, se forem devidamente validados e implementados na forma de plataformas tecnológicas podem ter uma utilidade prática para a previsão e manejo de risco de problemas em culturas.

A previsão de doenças causadas pela ação de organismos patogênicos em plantas é um componente da epidemiologia botânica e está sendo incorporado ao manejo das doenças. Desse modo, a avaliação e precisão de risco visando o manejo de doenças de plantas possui na análise matemática do progresso de doenças, um importante e respeitado papel. A previsão de doenças é usualmente feita por modelos empíricos que descrevem processos epidemiológicos.

Pode-se elencar várias utilidades práticas para os modelos integrados de risco de doenças, como: avaliações de risco sob cenários históricos de clima, cenários de variabilidade climática, avaliação de impactos de mudanças climáticas e zoneamento de risco. As informações dos modelos, no decorrer de uma safra, podem orientar a atividade de monitoramento em locais com maior risco de ocorrência de epidemias, bem como prever a ocorrência de risco dessas e seu desenvolvimento em níveis severos, gerando alertas e orientando medidas de controle.

Combinando os modelos de simulação existentes com as tecnologias de programação web e bancos de dados existentes, é possível avançar no conhecimento visando sistemas de apoio à tomada de decisão. Essa combinação gera informação útil para auxiliar o manejo e produção de culturas agrícolas e torna essas tecnologias acessíveis aos produtores e técnicos.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta que auxilie à tomada de decisão para o manejo do risco da brusone do trigo, possibilitando a execução e visualização de modelos de simulação de doenças e pragas em culturas, facilitando o processo para o usuário final.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma ferramenta com interface web para utilização de modelos de simulação.
- Avaliar o risco de epidemias da brusone do trigo no Brasil e nos Estados Unidos utilizando a ferramenta desenvolvida.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Esta dissertação está organizada em três capítulos, sendo o Capítulo 1 a introdução; no capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica, para permitir a compreensão dos conceitos envolvidos nesta pesquisa e o capítulo 3 será apresentada a implementação da solução computacional, citando-se a modelagem e arquitetura do sistema, e as escolhas, quanto às tecnologias e linguagens de programação. Ainda neste capítulo, expõe-se a aplicação da ferramenta para mensurar o risco da brusone no trigo, e os resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as considerações finais e apontados os trabalhos futuros desta pesquisa



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MODELOS DE SIMULAÇÃO

Um modelo pode ser considerado uma abstração da realidade que visa se aproximar do comportamento verdadeiro do sistema, mas acaba sendo mais simples que o sistema real. Desse modo, em um sistema pode-se construir uma representação simplificada das diversas iterações entre as partes do mesmo. Deve-se simplificar a realidade, considerando somente as variáveis importantes para responder as questões que o modelo propõe. Dessa forma, o modelo de simulação procura repetir em um computador, com fidelidade, comportamentos, características e condições do sistema do mundo real [12].

Pode-se classificar o termo “simulação” em duas grandes categorias: a simulação computacional e a simulação não computacional. A simulação computacional necessita de um computador para ser realizada e a simulação não computacional não necessita de um computador, e pode ser realizada, por exemplo, por um engenheiro utilizando um protótipo de um avião em tamanho reduzido para verificar seu comportamento em um túnel de vento [12].

Os modelos de simulação são utilizados há mais de sessenta anos na resolução de problemas relacionados ao setor agrícola. Os primeiros modelos de simulação, desenvolvidos nos anos 60, tinham como finalidade a simulação da interceptação da luz e fotossíntese das plantas. Com o tempo estes modelos tornaram-se mais complexos e vieram suas limitações. Mesmo assim há evidências de que modelos de simulação de culturas possam ter participação importante na pesquisa científica, na tomada de decisão e na educação.

Esses modelos de simulação são programas de computador que utilizam como entrada valores das variáveis do sistema em questão para exercer influência sobre o que o modelo deseja prever ou responder. Em modelos de simulação de doenças e pragas em culturas podem-se utilizar vários tipos de entradas para processar e apresentar uma análise matemática de riscos de epidemias. Entre os tipos de entrada normalmente utilizados, pode-se destacar:

- Dados meteorológicos observados;
- Prognósticos de tempo e clima;
- Dados de experimentos;
- Dados históricos observados de produção da cultura;
- Dados auxiliares, como: épocas de semeadura, datas de colheita, quantidades de adubação nitrogenada e índices de produtividade do solo;
- Dados específicos da região onde o modelo será utilizado como: dados climáticos, dados de solo, informações sobre o manejo, dados genéticos do cultivar e crescimento diário;

- Efeitos do ambiente físico como temperatura: radiação solar, CO<sub>2</sub>, água no solo e comprimento do dia;
- Dados de danos causados por pragas;

Os modelos de simulação podem utilizar os vários tipos de entradas acima citados, conforme o que o modelo se propõe a responder. Por exemplo, o trabalho de Toebe [13], propõe um modelo para a simulação da dinâmica populacional de insetos de pragas agrícolas. O modelo de Toebe é baseado em agentes e utiliza dados meteorológicos com leituras horárias para os 365 dias do ano e dados de experimentos com avaliações de infestações de *Rhopalosiphum padi*<sup>1</sup> em ambientes semicontrolados.

#### 2.1.0.1 CROPSIM

O modelo de simulação *CSM-Cropsim:Wheat* faz parte do sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), usado para simular o crescimento e o desenvolvimento da cultura do trigo. Modelos de simulação de culturas consolidam representações matemáticas de vários processos fisiológicos do crescimento e desenvolvimento de uma cultura, possibilitando prever o seu resultado [16].

O modelo *CSM-Cropsim:Wheat* é parametrizado por meio de arquivos no formato texto, e o fluxo para a execução é a geração dos arquivos de entrada, a execução do arquivo binário do simulador e a criação dos arquivos contendo a saída do modelo [17] [18].

As entradas para o modelo são arquivos de texto, e é possível identificar a sua função ou conteúdo pela extensão do arquivo:

- .WTH: dados meteorológicos;
- .SOIL: dados de solo;
- .WHX: gerencia a execução e contém dados sobre os tratamentos, identificação dos arquivos de solo, detalhes da semeadura, condições iniciais e o manejo;
- .CUL: dados sobre o cultivar;
- .ECO: contém os coeficientes de resposta da planta em relação ao ambiente (ecotipo);
- .CFG: contém as configurações para a execução do *CSM-Cropsim:Wheat*, como diretórios, módulos, arquivos e programas;
- .CTR: contém configurações de controle do *CSM-Cropsim:Wheat*;
- .SOM: contém os parâmetros necessários para a simulação da matéria orgânica no solo;
- .SPE: contém características sobre a espécie, como composição básica dos tecidos e alguns processos da planta, como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento;

---

<sup>1</sup>Espécie que infesta os cereais de inverno no sul do Brasil

A saída do modelo é em arquivos no formato texto, que contém os resultados da simulação. As extensões dos arquivos gerados são .OUT, .LOG e .WHM.

## 2.2 SIMULAÇÃO BASEADA NA WEB

Com o surgimento da internet, e dos serviços oferecidos por ela, muitas disciplinas estão reavaliando as suas estratégias e técnicas [19]. A simulação é afetada por esta tecnologia como qualquer outra técnica [20], representando uma área fértil para realização de pesquisas de simulação por computador [21].

Como afirmam Kuljis e Paul [8], a popularização da web forçou a comunidade de simulação a migrar para web, a fim de se adequar a esta realidade o que permitiu o surgimento da área de simulação baseada na web (WBS). Esta nova área pode ser definida como o uso de recursos e tecnologias oferecidas pela *World Wide Web* (WWW) para a interação no formato cliente e servidor com ferramentas de modelagem e simulação. Portanto, uma característica comum a todos os aplicativos WBS é que eles usam um *browser* para conectar o usuário com a simulação [22].

Embora o conceito de simulação baseada na web provavelmente seja tão antigo quanto a própria web [23], os primeiros estudos iniciaram em 1995, fornecendo *front-ends* para execução de simulações baseados em programas/scripts CGI (*Common Gateway Interface*). Esses primeiros estudos começaram com pacotes de simulação, sistemas e ambientes baseados em Java, que poderiam ser executados em qualquer lugar da web [24] [25]. Um dos primeiros trabalhos de pesquisa envolvendo a questão da WBS foi um artigo de Fishwick [26], que apresentou algumas questões e conceitos da simulação baseada na web, servindo como pano de fundo para uma discussão mais formal e para a formação de uma nova subárea de simulação.

Diversos fatores levaram a escolha do desenvolvimento de uma ferramenta baseada na web para facilitar o uso dos modelos de simulação. Conforme o trabalho de Byrne et al. [1], pode-se citar algumas vantagens da simulação baseada na web:

- Facilidade de uso: Considerando as dificuldades na execução de modelos de simulação, a web poderia auxiliar este processo, pois uma das suas características principais é a facilidade de navegação e uso [8]. Para a maioria dos usuários a obtenção de dados a partir da web se tornou uma prática comum [27]. Para interagir e controlar a simulação a internet oferece uma interface familiar, isolando o usuário das complexidades gerais envolvidas na execução dos modelos de simulação [28];
- Colaboração: Comunicação e interação são alguns dos fatores que influenciam no desenvolvimento de um projeto de simulação bem-sucedido [9]. A abordagem de colaboração pode incluir monitoramento e depuração, o que pode resultar em uma redução de custos e tempo de desenvolvimento, em relação aos modelos desenvolvidos em máquinas locais sem capacidade de interação com o grupo [9] [8];

- Reutilização de modelos: O tema do modelo de reutilização e seu apoio metodológico e tecnológico tem gerado discussões e debates na comunidade de modelagem e simulação [29]. A Web pode apoiar a reutilização de modelos por sua natureza distribuída e protocolos de acesso de dados comuns [30];
- Capacidade multiplataforma: A Web permite a capacidade de executar um aplicativo em qualquer navegador e em qualquer sistema operacional [31] [32] [33], o que deixa o desenvolvedor livre de preocupações com configuração nos clientes;
- Acesso controlado: O aplicativo pode ter áreas específicas com acesso limitado com o uso de usuários e senha, sem necessidade de atualização nas máquinas clientes [32];
- Ampla disponibilidade: Aplicações de simulação baseadas na web podem ser usadas em qualquer lugar do mundo, com o uso de uma conexão de internet, sem necessidade de transporte de hardware ou software [31] [34];
- Versionamento, customização e manutenção: Com a utilização de sistemas baseados na web, a manutenção é minimizada [31] [33]. Todas as modificações são realizadas no servidor [31], permitindo modificações e atualizações frequentes, sendo imediatamente distribuídas na aplicação, reduzindo erros em potencial;
- Integração e interoperabilidade: Ferramentas baseadas na Web podem integrar e interoperar com outros aplicativos com base na web, aplicativos para dispositivos móveis e aplicativos para desktop habilitados para a web [31] [32] [33];

Mesmo com tantas vantagens, pode-se apresentar as seguintes desvantagens [1]:

- Perda de velocidade: Devido ao tráfego da rede, o usuário pode, em determinadas situações experimentar uma perda de velocidade ao interagir com a ferramenta [32];
- Vulnerabilidades de segurança: Aplicativos baseados na web são mais vulneráveis a ataques do que aplicativos desktop [32];
- Dificuldade na simplificação da simulação: Wiedemann [30] observa que a web não pode simplificar o processo de modelagem e simulação em um futuro próximo, concluindo que os modelos de simulação devem ser desenvolvidos por meio de ferramentas de simulação tradicionais e utilizando a web, somente como ferramenta de apoio a reutilização dos modelos de simulação existentes;

Vários autores classificam a simulação baseada na web ([20], [35], [36],[37],[38], [39]). Por meio da pesquisa na literatura, foram identificados sete categorias principais de simulação baseadas na web [1]:

- Simulação e visualização local;
- Simulação e visualização remota;

- Simulação e visualização híbrida;
- Documentação de simulação baseada na web;
- Simulação baseada na web com modelo de repositório;
- Simulação baseada em componentes em relação a simulação baseada na web;
- Simulação distribuída em relação a simulação baseada na web;

As três primeiras categorias descrevem como aplicações de simulação baseada na web podem ser construídas arquiteturalmente. A documentação de simulação baseada na web relata os esforços para fornecer documentação online de simulações. A simulação baseada na web com modelo de repositório descreve repositórios de modelos de simulação. A simulação baseada em componentes e a simulação distribuída são áreas de estudo da simulação baseada na web. A figura 1 ilustra opções arquiteturais.

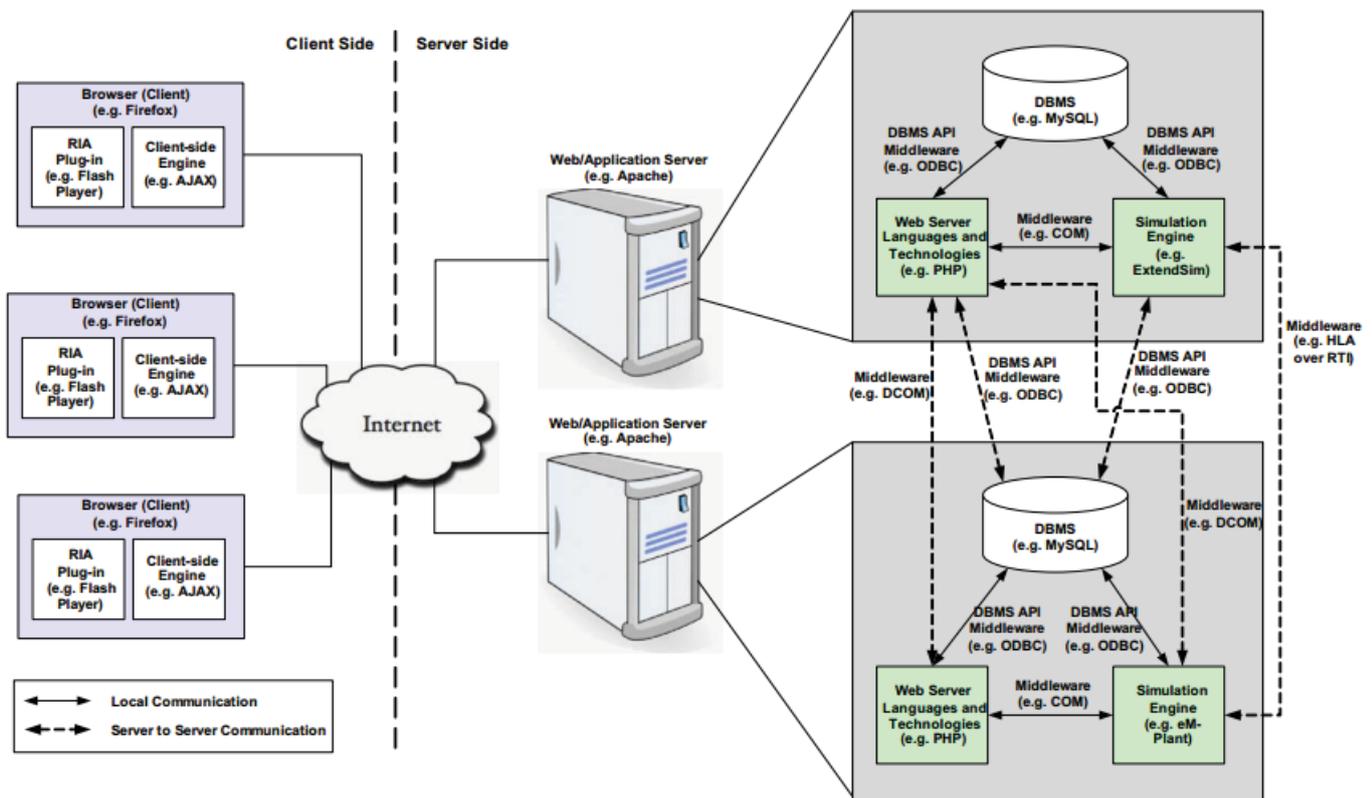


Figura 1. Opções de arquitetura de simulação baseada na web. Autor : [1]

### 2.3 TRIGO

O trigo é uma cultura que possui uma importância econômica relevante. Em nível mundial, o trigo representa, aproximadamente, 30% da produção global de grãos, sendo empregado na alimentação humana, na alimentação animal e na elaboração de produtos não alimentício. Entre as suas espécies, duas possuem importância econômica: o trigo comum ou para pão, *Triticum aestivum* L., e o trigo duro ou para macarrão, *Triticum turgidum* var. *Durum* [75].

A origem da civilização e da agricultura coincide com a domesticação do trigo o que permitiu ao homem conservar alimento, disponibilizando tempo para a realização de outras atividades, fazendo-o assim passar do estágio da caça e coleta e estabelecer-se em povoados. Estudos indicam que o trigo faz parte da alimentação humana desde 28 mil anos a.C., sendo que as primeiras espécies cultivadas de *T. monoccocum*, estão datadas de 8.000 a 7.500 anos a.C. na Síria. O trigo hexaploide, espécie mais cultivada atualmente, tem seu cultivo datado de 7.000 a.C. [76]. O centro geográfico da domesticação do trigo situa-se nas montanhas de Zagros (Irã – Iraque) até as montanhas Taurin, na Turquia e a sudoeste do mar mediterrâneo [77]. Segundo Federizzi et al. [77] a economia de antigas cidades e civilizações como Babilônia, Grécia, Creta, Egito e Roma, estavam baseadas na cultura do trigo.

Como a produção e o armazenamento pode ser realizado em grandes quantidades, a cultura do trigo possui uma grande adoção, tornado-se um dos cereais mais cultivados da atualidade. Esse fato contribui para o crescimento da indústria, que necessita de equipamentos e produtos agrícolas para diversas etapas de produção [78].

### **2.3.1 A importância econômica do trigo**

O trigo é utilizado principalmente como fonte de alimento para o homem, desde os tempos pré-históricos, o que tornou a cultura amplamente difundida mundialmente, na forma de grão ou seus derivados. Esses podem ser obtidos pela industrialização, que vai desde a farinha para fabricação de pães, massas e biscoitos, bem como o farelo, utilizado na alimentação animal como complemento vitamínico [81]. Na alimentação humana é consumido direto ou indiretamente por cerca de 35% da população.

O grão do trigo contém diversos nutrientes essenciais para a dieta humana. Entre os seus constituintes, ele possui 60% a 80% de carboidratos, principalmente na forma de amido, 8% a 15% proteínas e 1,5% a 2,0% de gorduras e vitaminas E e do complexo B. Além do seu valor nutricional, possui baixo conteúdo de água nos grãos, o que facilita seu transporte e processamento [82].

Segundo estimativas, no ano de 2020 o consumo no mundo se aproxime de um bilhão de toneladas de trigo, e para atender esta demanda, será necessário passar de um rendimento de grãos em torno de 2,500 KG por hectare a 4,500 KG por hectare, sendo necessário para tanto um aumento no rendimento de 2,5% ao ano [83]. Entre os países que se destacam no consumo estão a União Européia, China e Índia.

Diante deste cenário de produção/consumo, um fato relevante é o acelerado aumento da população mundial, de forma desproporcional à produção de trigo. Dessa forma, para o cereal continua sendo oferecido como alimento para as futuras gerações, técnicas para aumentar a produção e controlar a sanidade precisam ser estudadas e adotadas. Pode-se alcançar uma produção elevada por meio da interação da biologia da espécie com a tecnologia e fatores ecológicos, a fim de melhorar o rendimento de grãos e controlar o aparecimento de doenças [84].

### 2.3.2 O trigo no Brasil

Na América do Sul o trigo foi introduzido em 1534, por Martim Afonso de Souza [85]. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o trigo no Brasil começou a ser cultivado na Capitania Hereditária de São Vicente, atualmente o Estado de São Paulo. Posteriormente começou a ser cultivado no sul, onde encontrou ambiente, clima e solo mais propícios. Fatores como epidemias de ferrugem, gerras regionais e a abertura de nossos portos às nações amigas levaram quase a extinção do trigo no Brasil. Após a independência e a fase imperial, chegaram os imigrantes, alemães e italianos, que mantiveram o trigo nas colônias do Rio Grande do Sul.

O Brasil não se encontra entre os principais produtores de trigo do mundo e sua produção representa somente 0,5 a 1% da produção mundial. O Brasil é um grande importador de trigo, com a produção nacional sendo muito inferior a demanda interna. Isto se deve a fatores como problemas na produção, comercialização e viabilidade econômica [75]. A baixa produção é influenciada por detalhes como os altos custos de produção e dificuldades de comercialização do trigo nacional decorrentes da facilidade de importação do grão do exterior. Somado a isso, a desvinculação do mercado brasileiro em relação ao preço internacional, a renda bruta variável e carga tributária alta onerando o produto final aliado a falta de condições financeiras para adotar tecnologias acarretaram uma forte redução na oferta local pela redução da área plantada e diminuição dos investimentos por parte do pequeno produtor [75] [86].

Conforme relata Mundstock [87], a expansão do trigo no Brasil foi dividida em etapas. Destaca-se a terceira etapa, iniciada em 1969 que obteve um aumento considerável na área cultivada chegando a 4.000.000 ha. Foi caracterizada pela criação de variedades mais tolerantes às moléstias, menos suscetíveis a variações ambientais, mais produtivas, por sementes de melhor qualidade, maior disponibilidade de fertilizantes e defensivos, ampliação do maquinário, financiamento do custeio a taxas reduzidas e pela abertura de novas áreas tritícolas, como São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Até o início da década de 1970 o Rio Grande do Sul foi responsável pela maior parte da produção tritícola nacional, mas a ampliação do cultivo de trigo para a região Centro-Sul possibilitou uma maior estabilidade no rendimento de grãos. Isso se deve ao fato de surgirem épocas de semeadura diferentes, problemas que ocorrem em um Estado podem não acometer em outro.

### 2.3.3 Brusone no trigo

A brusone é uma doença que possui como agente causal o fungo *Magnaporthe oryzae* no trigo. Teve a sua ocorrência descrita pela primeira vez na região sul do Brasil por Igarashi et al. [88], no estado do Paraná, nos municípios de Primeiro de Maio, Sêtanópolis, Rancho Alegre, Londrina, Engenheiro Beltrão e São Pedro do Ivaí no ano de 1985, de forma aleatória. No ano seguinte, a doença acarretou prejuízos consideráveis no norte do Paraná, afetando também o oeste do Paraná, noroeste de São Paulo e sul do Mato Grosso do Sul. No ano de 1987, a doença provocou perdas parciais ou totais em muitas lavouras das regiões citadas anteriormente, tomando proporções

epidêmicas. Naquele ano, em cerca de 70 municípios, houve prejuízos estimados em 10 a 12% [88] [89]. Segundo Igarashi [89], em 1988, a doença manifestou-se cerca de 8 a 10 dias após a fase de emergência, devido a presença de sementes infectadas, cultivares suscetíveis, inóculo da safra anterior e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. Na época notou-se intensidade maior da doença em cultivares precoces, semeados até a primeira quinzena de abril. No ano de 2004, a brusone voltou a causar prejuízos, principalmente no cerrado brasileiro e no Mato Grosso do Sul, bem como nas regiões Norte e Oeste do estado do Paraná. A doença continua causando prejuízos até hoje.

O vento, a água e restos culturais são as principais formas de disseminação de conídios de *M. oryzae* e de outros fungos que apresentam esporos. Em regiões temperadas, principalmente no inverno, o fungo sobrevive infectando grãos e palhas dos restos culturais. A região dos trópicos possui alta densidade de conídios no ar, pois esses são facilmente transportados pelo vento e possuem capacidade para introduzir o patógeno em áreas sem registro da doença e reinfestar áreas livres de infecção [90].

Nas primeiras detecções da brusone em trigo, entendeu-se que a doença era específica da espiga, devido as lesões provocadas na ráquis e branqueamento parcial ou total da espiga, mas posteriormente foram detectados sintomas nos demais órgãos da planta [89].

Os estudos realizados por Goulart et al. [91] comprovam que a brusone pode causar grandes perdas na produção. No estado de Mato Grosso do Sul, em áreas experimentais com a cv. Anahuac, nos municípios de Rio Brilhante, Dourados e Itaporã nos anos de 1988 a 1990 foram identificadas perdas de até 11% da produção em 1988, em Rio Brilhantes, com incidência média de 51% de espigas infectadas. No ano seguinte registraram-se perdas menores, de cerca de 10% rendimento, com incidência média de 45% de espigas com brusone. Em 1990, no município de Dourados, as perdas chegaram a 40% da produção estimada, com incidência média de 93% de espigas com brusone. Os autores ainda constaram que quanto mais cedo a infecção ocorria, causava maiores perdas.

## 2.4 AGRODB

O banco de dados denominado AgroDB (Agronomy DataBase) foi desenvolvido por Lazareti [4]. O mesmo caracteriza-se por ser uma ferramenta de suporte a integração com modelos de simulação. O AgroDB permite a persistência de dados no banco de dados, a criação de experimentos a serem simulados, a execução de funções de integração com os modelos de simulação, a importação dos dados de saída dos modelos de simulação e a visualização dos resultados importados. Na Figura 2 pode-se visualizar a arquitetura do AgroDB.

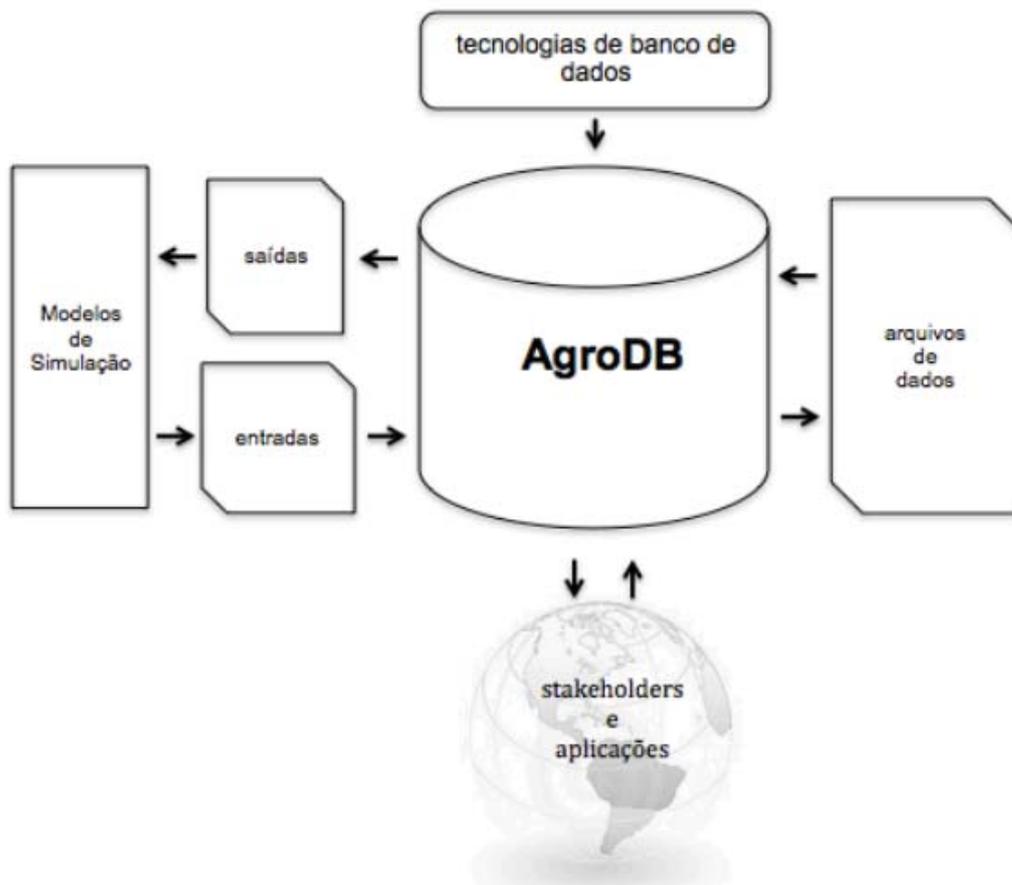


Figura 2. Arquitetura AgroDB - Módulo Experiment. Autor: [4]

Além da integração com os modelos de simulação, o AgroDB funciona como um repositório de dados que permite a importação e exportação de arquivos de dados em diversos formatos. Os modelos de simulação trabalham com formatos específicos de arquivos, e por meio da linguagem SQL e linguagem procedurais do banco de dados, tornou-se possível interagir com os arquivos dos modelos, gerando arquivos para sua execução e importando os resultados obtidos.

Para a utilização dos modelos de simulação são necessários quatro passos distintos [4]:

- Preparação dos dados: Esta etapa envolve a preparação dos dados para montagem e execução do experimento. Os dados são cadastrados ou importados no banco de dados, sendo realizada uma verificação na integridade dos dados antes da sua utilização;
- Preparação do experimento: Nessa etapa são cadastrados os experimentos, seus parâmetros (controle de doença, cálculo da matéria orgânica, controle hídrico), condições iniciais do experimento, adubação e fatores avaliados no experimento. Depois são executados um conjunto de funções escritas em PL/PgSQL e PL/R e operações de manipulação de dados escritas em SQL, para gerar tratamentos, estrutura de dados e arquivos necessários para executar o modelo de simulação;
- Execução: Por meio de funções de integração, é executado o modelo de simulação de culturas, e depois realizada a importação dos resultados dos arquivos de saída do modelo de simulação para as respectivas estruturas no AgroDB;

- **Visualização:** Na última fase, após a manipulação dos dados obtidos por meio do simulador, a visualização é realizada usando consultas SQL, por meio de funções PL/R e funções geográficas do banco de dados;

O AgroDB é composto atualmente por 63 tabelas, divididas nos módulos: *basics*, *cultivar*, *experiments*, *integration*, *simulation models*, *soil* e *weather*. Os módulos *basics* e *experiments* foram subdivididos por possuírem funcionalidades internas diferentes. Os módulos serão descritos a seguir.

**Módulo *basics*:** Manutenção (inclusão, alteração e exclusão) de tabelas básicas para o funcionamento do sistema. É dividido em quatro submódulos:

- ***Basics-control*:** Possui as tabelas que realizam o controle dos usuários e dos programas que acessam os dados.
- ***Basics-data*:** Contém tabelas para identificar os tipos de dados armazenados e suas fontes.
- ***Basics-localization*:** Possui tabelas para armazenar dados de localidades, como cidades, estados ou países.
- ***Basics-station*:** Contém tabelas que armazenam dados referentes as estações onde os dados foram coletados.

**Módulo *crops*:** Manutenção (inclusão, alteração e exclusão) de tabelas que contém dados sobre as culturas agrícolas. Estas informações incluem coeficientes das cultivares, dados sobre doenças e informações sobre como uma determinada cultivar caracteriza-se em relação a determinado modelo de simulação de culturas. As classes desse módulo podem ser visualizadas na figura 3.

**Módulo *integration*:** Possui tabelas que armazenam informações necessárias para a integração, que entende-se como os dados de entrada para o banco de dados e os dados de saída desse.

**Módulo *simulation-models*:** Armazena dados dos modelos de simulação e mostra a qual sistema pertencem.

**Módulo *soil*:** Possui tabelas que armazenam dados associados às características do solo, mantendo informações sobre as variáveis deste, localização e fonte dos dados. As classes que compõe este módulo podem ser visualizadas na figura 4.

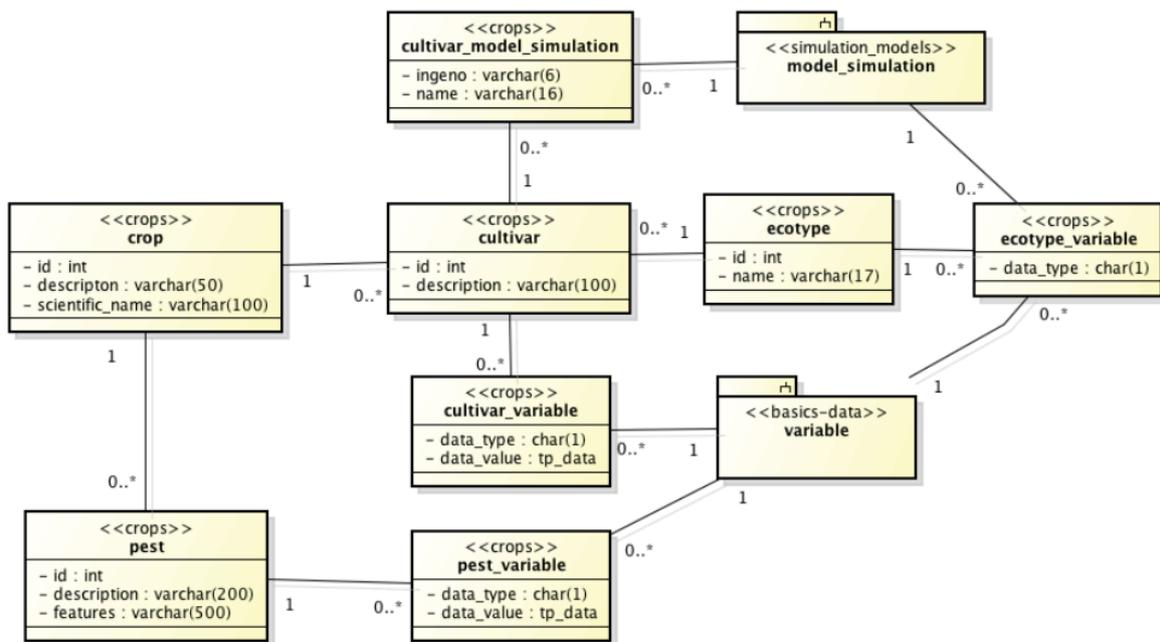


Figura 3. Módulo *crop*. Autor: [4]

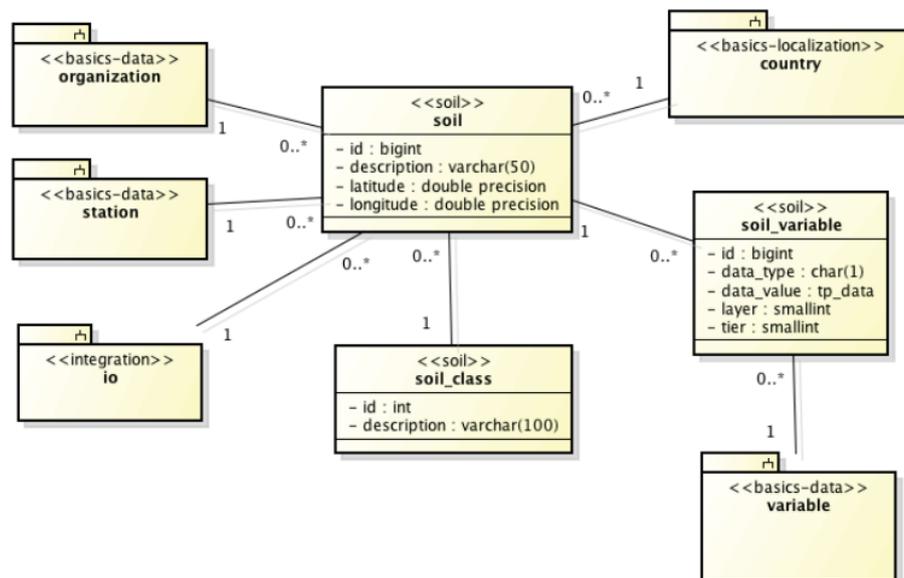


Figura 4. Módulo *soil*. Autor: [4]

**Módulo *weather*:** Contém tabelas que armazenam dados meteorológicos. Pode armazenar dados observados ou dados de prognósticos de tempo e clima. Os dados de prognósticos podem ser associados a cenários, indicando diferentes representações do clima, e ainda podem ser associados ao acúmulo de gases na atmosfera. As classes contidas neste módulo podem ser visualizadas na figura 5.

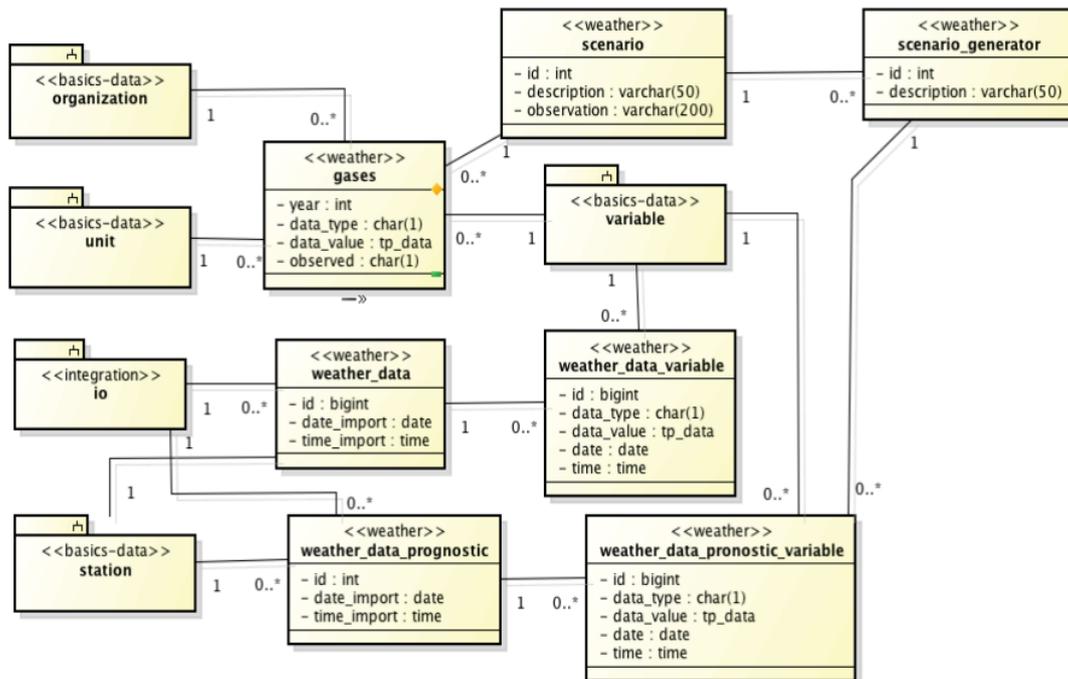


Figura 5. Módulo *weather*. Autor: [4]

**Módulo *experiment*:** A sua principal função é manter os dados que dão o suporte à preparação, à montagem e à execução de experimentos. Possui três módulos, para as etapas de preparação, execução e pós-execução dos experimentos. Estes serão descritos a seguir.

- ***Experiments-prepare*:** Possui as tabelas necessárias para armazenar os dados para a montagem do experimento, para que seja possível executá-lo posteriormente. Nessa etapa são definidos os dados meteorológicos, dados de solo, condições iniciais, e outros dados de controle do experimento, como controle de doenças, controle do nitrogênio ou às estações meteorológicas e cultivares. As classes desse módulo podem ser visualizadas na figura 6.
- ***Experiments-execution*:** Contém tabelas necessárias para a etapa de execução do experimento, armazenando informações dos tratamentos gerados pelo experimento e importando os resultados dos modelos de simulação. As suas classes podem ser visualizadas na figura 7.
- ***Experiments-controls*:** Corresponde a pós execução do experimento, possuindo tabelas para que seja possível analisar os resultados obtidos com as simulações e realizar análise cruzada com dados observados de experimentos realizados em campo.

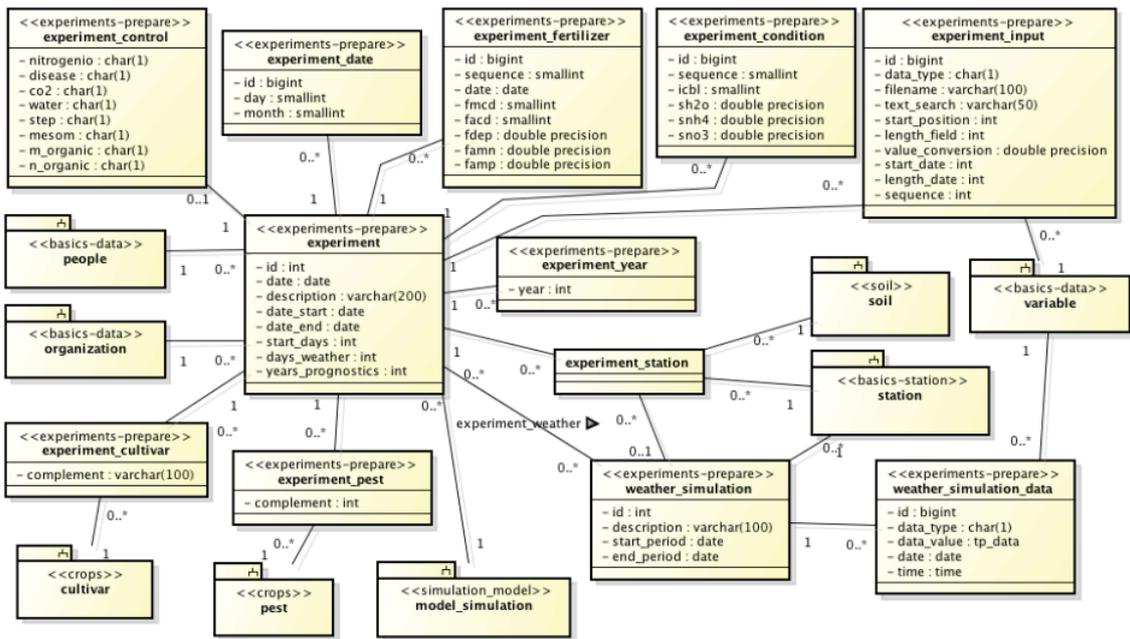


Figura 6. Módulo *experiments-prepare*. Autor: [4]

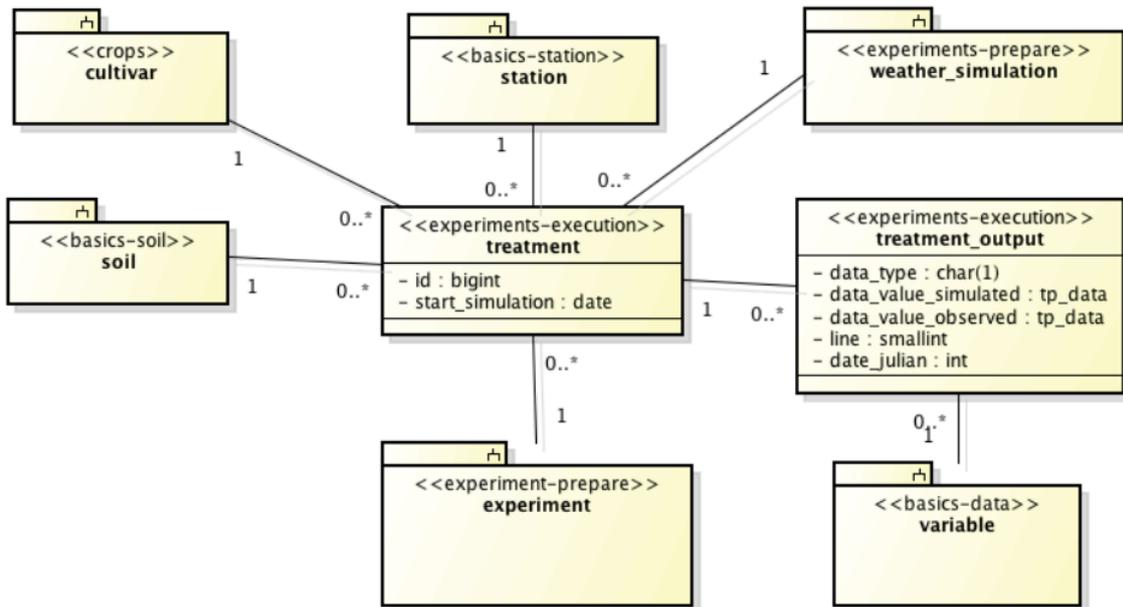


Figura 7. Submódulo *experiments-execution*. Autor: [4]



### 3. UM SISTEMA INTEGRADO DE MODELAGEM DE CULTIVOS E DOENÇAS: BRUSONE NO TRIGO

A agricultura depende de vários fatores para alcançar o sucesso desejado o que obriga produtores e técnicos aumentar a produtividade e competitividade para alcançar seus objetivos. A correta tomada de decisões representa a eficiência no setor agrícola e é considerada um dos pilares da administração moderna. Baseia-se na filosofia da qualidade total.

A informação pode ser a principal matéria prima para a tomada de decisão. É por meio dela que se obtém subsídios para tomar as decisões de como tratar ou reagir aos riscos e às incertezas. O uso dessa informação requer ferramentas de investigação, face à complexidade dos fatores normalmente encontrados, que auxiliem no desenvolvimento do raciocínio sistemático-lógico.

Sendo assim, modelos de simulação podem processar dados gerando informação útil a tomada de decisão. Diversos fenômenos e processos na natureza, ciência, tecnologia e economia são modelados matematicamente, e os modelos resultantes são utilizados para controle, previsão e otimização. Esses modelos virtuais podem simular os sistemas reais, substituindo os longos e custosos experimentos reais [92]. Segundo Trottenberg e Poutré [92], a evolução dos computadores permitiu que problemas computacionais complexos pudessem ser resolvidos, algo que não era possível há cerca de 20 anos, com cálculos sendo resolvidos aproximadamente 1 milhão de vezes mais rápido. Nesse sentido, a matemática e a computação contribuem na formação das realidades simuladas.

O setor do agronegócio possui uma demanda constante pela previsão de riscos e benefícios decorrentes das práticas de manejo ao sistema agrícola, especialmente aqueles que visam à minimização do impacto dos problemas fitossanitários e a previsão do rendimento de grãos das culturas. A geração de informações de base racional para orientar tomadas de decisão no processo produtivo possui enfoque sistêmico, em que o conhecimento detalhado sobre alternativas de manejo e seus efeitos positivos e limitações são fundamentais. Em muitos casos os modelos de simulação geram informação quantitativa sobre a produção da cultura [93] [94] [95] [96].

Os modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas apresentam-se como uma metodologia de ampla aplicação para a tomada de decisão, constituindo-se em um instrumento de auxílio aos gestores agrícolas, subsidiando a elaboração de sistemas de manejo voltados à prevenção e controle de riscos. Esses são programas de computador que podem utilizar como entrada dados meteorológicos observados, prognósticos de tempo e clima, e dados de experimentos, processando-os e apresentando uma análise matemática desde riscos de epidemias a estimativas de rendimento de grãos.

A agricultura é uma atividade influenciada por fatores como o ambiente de exposição e o manejo dispensado aos sistemas de produção. O ambiente de exposição sofre a influência de elementos climáticos como precipitação pluvial e radiação solar. O resultado de uma determinada cultura, positivo ou negativo, pode ser avaliado pela experimentação agrícola convencional por meio da identificação e quantificação de fatores relevantes no desempenho das culturas. Entretanto, para

incrementar a qualidade dos estudos utilizam-se experimentos físicos com um grande número de fatores. Isso resulta em dificuldades na condução, na análise e na interpretação do experimento, custos elevados, além de um período de tempo grande para obtenção de resultados consistentes.

Uma alternativa para os experimentos físicos são as simulações computacionais. Os modelos matemáticos e simuladores aplicados à pesquisa agropecuária permitem ao usuário simular uma representação limitada do sistema real. Dessa forma, se opera um modelo do sistema com a possibilidade de criação de cenários alternativos para o problema em questão, permitindo o seu entendimento em situações atípicas ou não visualizadas de forma prática. Essa possibilidade permite a realização de testes laboratoriais ou de campo direcionados, levando em consideração, os resultados da simulação, reduzindo custos e avaliando o impacto ambiental das práticas agrícolas em estudo. Os modelos e simuladores, se forem devidamente validados e implementados na forma de plataformas tecnológicas, tem uma utilidade prática para a previsão e manejo de risco de problemas em culturas.

Os sistemas agropecuários diferem-se dos outros pelo fato de organismos vivos, como animais e plantas estarem relacionados ao processo produtivo, o que introduz um maior grau de incerteza e elevado número de fatores aleatórios [97]. A construção de modelos de simulação visa descrever todo o sistema ao longo do tempo abordando as características biológicas que nele interferem.

Segundo Silva et al. [98], a utilização de modelos matemáticos para a simulação permite a investigação de cenários alternativos ao analisar fatores importantes para a produção como nutrientes, água, preservação de recursos naturais entre outros. Isso possibilita que os conhecimentos gerados em um local sejam aplicados à diferentes localidades por meio da simulação para estimar a produção, independente da localização, estação do ano, planta, cultura ou variedade de manejo. Caso os modelos matemáticos sejam utilizados em conjunto com SIG, se obtém uma ferramenta para tomada de decisão no planejamento regional e na agricultura de precisão [98].

A previsão de doenças e pragas podem auxiliar produtores de culturas agrícolas, por exemplo, a determinar quando utilizar agrotóxicos ou se estes serão pulverizados. Nesse sentido, muitos estudos para gerar informação sobre previsão de doenças em plantas com base em dados meteorológicos foram realizados [6]. O uso de (SIG)s, juntamente com modelos de simulação para análise de dados de clima, também trazem contribuições na melhoria da resolução temporal e espacial de dados meteorológicos, e conseqüentemente, permitem projeções de doenças ou pragas de plantas aplicáveis à gestão na prática.

A previsão de doenças causadas pela ação de organismos patogênicos em plantas é um componente da epidemiologia botânica e está sendo incorporado ao manejo das doenças. Desse modo, a avaliação e precisão de risco visando o manejo de doenças de plantas possui na análise matemática do progresso de doenças. A previsão de doenças é usualmente feita por modelos empíricos que descrevem processos epidemiológicos. Assim, são encontrados na literatura um considerado número de modelos de doenças de plantas de importância econômica que possuem aplicação prática para situações de alertas sobre riscos fitossanitários.

Pode-se elencar várias utilidades práticas para os modelos integrados de risco de doenças, como: avaliações de risco sob cenários históricos de clima, cenários de variabilidade climática, avaliação de impactos de mudanças climáticas e zoneamento de risco. As informações dos modelos, no decorrer de uma safra, orientam a atividade de monitoramento em locais com maior risco de ocorrência de epidemias, e preveem a ocorrência de risco destas e seu desenvolvimento em níveis severos, gerando alertas e orientando medidas de controle.

A construção de modelos de simulação é visto na comunidade da simulação como um problema fundamentalmente difícil [7]. De acordo com Kuljis e Paul [8] e Wang e Liao [9], a simulação é, e sempre foi, uma grande área de aplicação especializada, com um elevado grau de dificuldade. Iniciantes em simulação muitas vezes gastam tempo acumulando conhecimento e experiência para superar a complexidade da técnica de simulação [10]. Mesmo assim, para usuários experientes a construção, a execução e a análise de um modelo de simulação pode se tornar um processo demorado e propenso a muitos erros [11].

Um dos problemas ao se utilizar modelos de simulação, normalmente se dá ao fato de que são sistemas extremamente complexos e passíveis de utilização por pessoas dotadas de conhecimento no uso das tecnologias envolvidas. Outro problema, é incorporar os modelos de simulação em sistemas de suporte a tomada de decisão para uso de produtores e técnicos.

Segundo Silva et al. [98], sistemas de suporte à decisão são um conjunto de conhecimentos de especialistas formalizados como modelos, coerentes e integrados entre si, que possibilitam o estudo de sistemas reais complexos. Eles permitem a criação de cenários, estudos de previsão e avaliação de impacto do uso de recursos naturais. Para a criação desses sistemas, são necessários, além dos modelos, bancos de dados contendo informações experimentais e edafo-climáticas requeridas pelos modelos a serem utilizados.

O trigo é uma cultura que possui uma importância econômica relevante. Em nível mundial, o trigo representa, aproximadamente, 30% da produção global de grãos, sendo empregado na alimentação humana, na alimentação animal e na elaboração de produtos não alimentício. Entre as suas espécies, duas possuem importância econômica: o trigo comum ou para pão, *Triticum aestivum* L., e o trigo duro ou para macarrão, *Triticum turgidum* var. *Durum* [75]. Ele é largamente utilizado na alimentação humana, sendo consumido direta ou indiretamente por cerca de 35% da população humana. Segundo estimativas, no ano de 2020 o consumo no mundo se aproximara de um bilhão de toneladas de trigo, e para atender esta demanda, será necessário passar de um rendimento em torno de 2,5 toneladas por hectare a 4,5 toneladas por hectare, sendo necessário para isso um aumento no rendimento de grãos de 2,5% ao ano [83]. Entre os países que se destacam no consumo estão a China, Índia e membros da União Europeia.

Diante deste cenário de produção/consumo, um fato relevante é o acelerado aumento da população mundial, de forma desproporcional à produção de trigo. Desta forma, para o cereal continuar sendo oferecido como alimento para as futuras gerações, técnicas para aumentar a produção e controlar a sanidade precisam ser estudadas e adotadas. Pode-se alcançar uma produção elevada

por meio da interação da biologia da espécie com a tecnologia e fatores ecológicos, a fim de melhorar o rendimento de grãos e controlar o aparecimento de doenças [84].

Por sua vez, a produção de trigo no Brasil coloca a nação em posição de total dependência do produto importado. O consumo atual de trigo no País situa-se ao redor de 10 milhões de toneladas e a produção nacional supre não mais que 60% desse total.

Um dos graves obstáculos para o aumento da área de produção de trigo no Brasil é um fungo denominado *Magnaporthe oryzae*, agente causal da brusone do trigo, e teve a sua ocorrência descrita pela primeira vez na região sul do Brasil por Igarashi et al.[88], no estado do Paraná, nos municípios de Primeiro de Maio, Setanópolis, Rancho Alegre, Londrina, Engenheiro Beltrão e São Pedro do Ivaí no ano de 1985. Os estudos realizados por Goulart et al. [91] comprovam que a brusone pode causar grandes perdas na produção. No estado de Mato Grosso do Sul, em áreas experimentais com a cv. Anahuac, nos municípios de Rio Brillhante, Dourados e Itaporã nos anos de 1988 a 1990 foram identificadas perdas de até 11% da produção em 1988 em Rio Brillhante, com incidência média de 51% de espigas infectadas. No ano seguinte registraram-se perdas menores, de cerca de 10% rendimento, com incidência média de 45% de espigas com brusone. Em 1990, no município de Dourados, as perdas chegaram a 40% da produção estimada, com incidência média de 93% de espigas com brusone.

Dessa forma, o desenvolvimento de um sistema de suporte à tomada de decisão, de fácil utilização que permita ao usuário final criar experimentos e visualizar os seus resultados de forma rápida e de qualquer local, integrado um modelo do crescimento do trigo a um modelo de previsão de epidemias da brusone torna-se relevante.

Combinando os modelos de simulação existentes com as tecnologias de programação web e bancos de dados existentes, é possível avançar no conhecimento visando sistemas de apoio à tomada de decisão. Essa combinação gera informação útil para auxiliar o manejo e produção de culturas agrícolas e torna essas tecnologias acessíveis a produtores e técnicos.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um *framework* para a execução de modelos de simulação de culturas e doenças em plantas, aplicado a previsão de epidemias da brusone no trigo, provendo assim uma plataforma de apoio à tomada de decisão no setor do agronegócio.

### 3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizaram-se diferentes técnicas e tecnologias de desenvolvimento de software, como a modelagem orientada a objetos, o padrão de projetos MVC, linguagens de programação orientada a objetos, plataformas para o desenvolvimento de sistemas corporativos, componentes gerenciáveis por servidores de aplicação e diversos *frameworks* de apoio.

A aplicação desenvolvida consiste em uma ferramenta para apoiar a criação e a execução de experimentos integrados a modelos de simulação de culturas, e visualizar os seus resultados. A

arquitetura possui estrutura modular, possibilitando que as partes funcionem independentemente e que novos módulos de software possam ser adicionados.

Essa aplicação permite que o usuário final, de forma transparente, crie e execute modelos de simulação de culturas. Após a criação do experimento o usuário pode executar o modelo, e visualizar o seu resultado. Toda a complexidade existente nesse processo é abstraída, com o usuário acessando diretamente apenas a camada de visão do software.

A arquitetura pode ser visualizada de forma genérica na Figura 8. O usuário final acessa a camada de visão do software. Essa camada é responsável por atender as chamadas do usuário, e conforme a ação solicitada aciona a camada de controle, que verifica o que precisa ser realizado, acionando a camada de modelo ou retornando informações para o usuário. Na camada de modelo é realizado o mapeamento objeto-relacional, responsável por se comunicar com o banco de dados, transformando as informações contidas em tabelas relacionais, que por sua vez transforma-se em objetos para utilização da aplicação. O banco de dados AgroDB realiza a integração com os modelos de simulação e possui a estrutura necessária para a execução, como por exemplo dados climáticos, dados de solo, dados de culturas, entre outros.

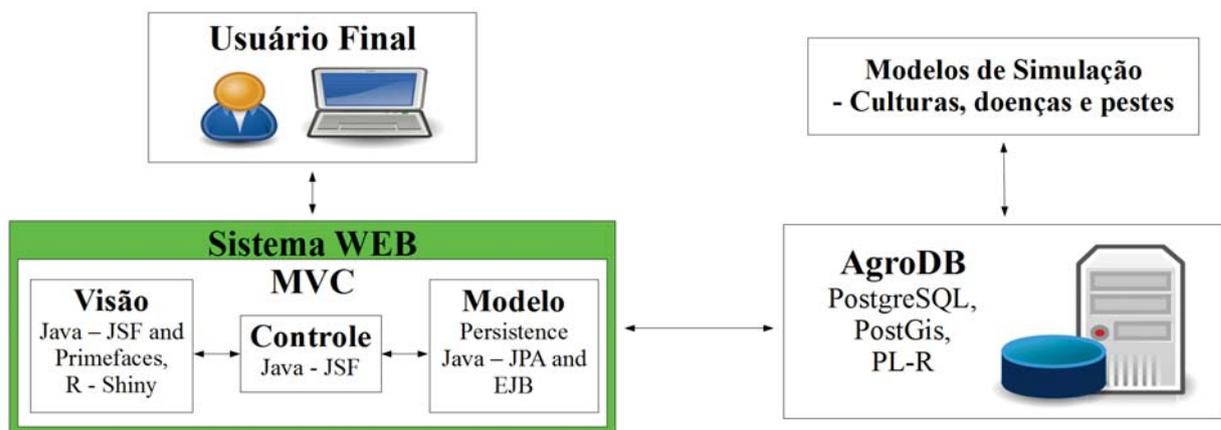


Figura 8. Arquitetura do software.

## 3.2 PROJETO

Segundo Sommerville [99], modelagem de um sistema é o processo de desenvolvimento de modelos abstratos de um sistema, onde cada modelo representa uma visão ou perspectiva diferente do sistema. A modelagem de um sistema normalmente representa o sistema com alguma notação gráfica, e atualmente a linguagem de modelagem unificada UML (*Unified Modeling Language*) é amplamente utilizada.

Neste projeto foram usados modelos para descrever e documentar os requisitos do sistema e sua arquitetura.

### 3.2.1 Requisitos

Os requisitos foram levantados com base no objetivo principal da aplicação, cujo principal é a execução de experimentos com modelos de simulação. Muitos dos requisitos levantados correspondem a etapa de integração com modelos de simulação do trabalho de Lazzaretti [4], e o restante dos requisitos correspondem as necessidades da aplicação, que visa facilitar a execução de experimentos com modelos de simulação e visualização de resultados. Os requisitos que serão descritos são os relacionados a manutenção, execução e visualização da saída dos experimentos, e podem ser visualizados no diagrama de casos de uso da Figura 9.

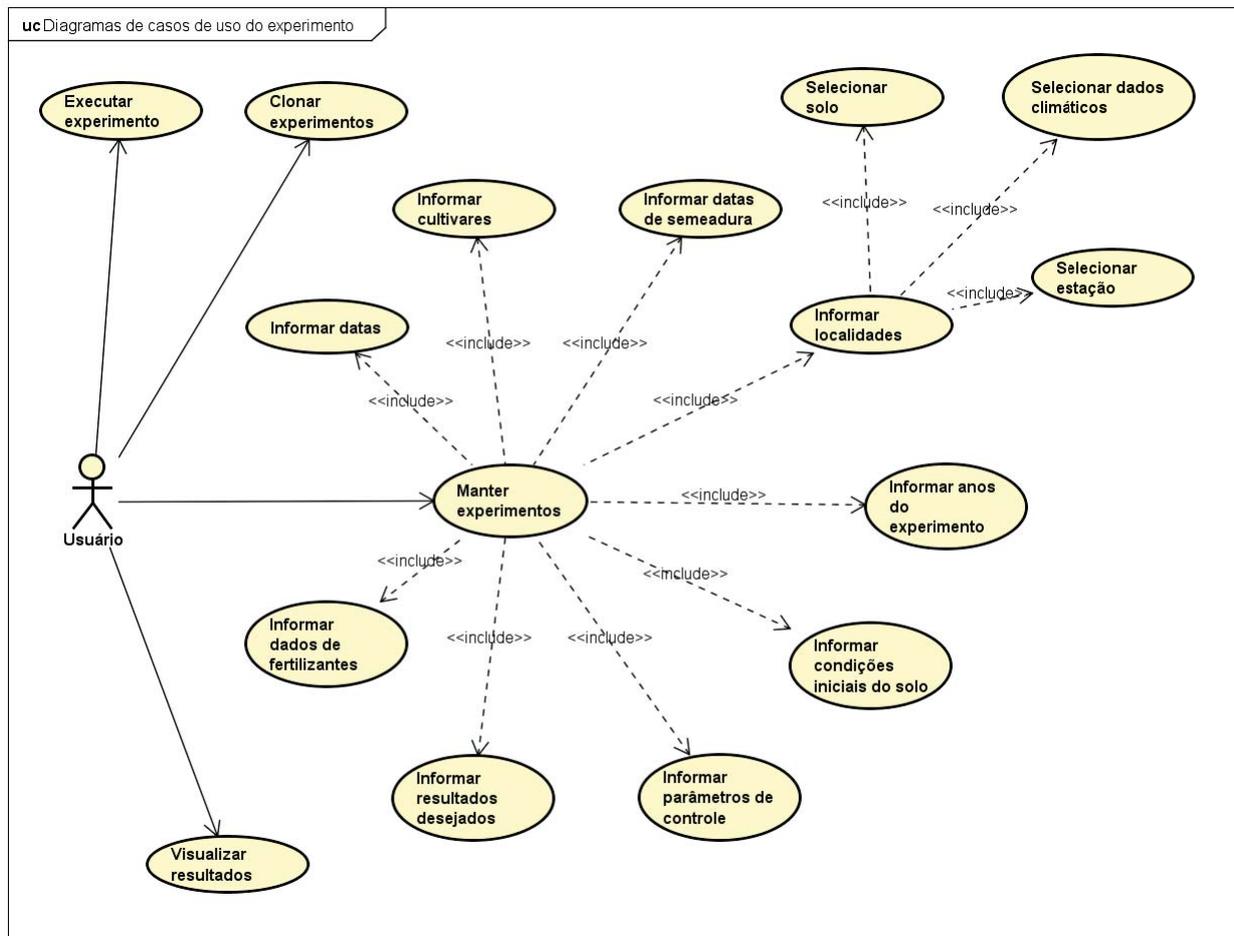


Figura 9. Diagrama de casos de uso relacionados a experimentos.

O caso de uso “manter experimentos” descreve o requisito necessário para que o usuário possa cadastrar novos experimentos, alterar, excluir ou consultar experimentos existentes, e foi extraído do trabalho de Lazzaretti [4]. Nesse caso de uso, o usuário informa dados básicos sobre o experimento a ser criado, como descrição e modelo de simulação a ser executado. A execução desse caso de uso obriga a execução de outros casos, necessários para a manutenção de todas as informações de execução de um experimento. O objetivo de cada um desses casos de uso é descrito a seguir:

- Caso de uso **Informar datas**: O usuário deve informar a data de início e de fim do experimento, além número de dias anteriores a data de semeadura, correspondente ao intervalo de dados climáticos;
- Caso de uso **Informar cultivares**: O usuário deve informar a cultivar associada ao experimento;
- Caso de uso **Informar datas de semeadura**: O usuário deve informar as datas de semeadura usadas no experimento;
- Caso de uso **Informar localidades**: O usuário deve informar as localidades onde o experimento será executado. Para cada localidade será necessário a execução dos seguintes casos de uso:
  - Caso de uso **Selecionar solo**: O usuário deve selecionar o solo a ser utilizado. O conjunto de dados do solo deve estar previamente cadastrado no banco de dados;
  - Caso de uso **Selecionar dados climáticos**: O usuário deve selecionar o conjunto de dados climáticos a ser utilizado na simulação. Para execução do modelo *CSM-Cropsim:Wheat* é necessário somente informar um conjunto de dados climáticos com passo diário, e para a execução do modelo da Brusone no trigo, é necessário informar mais um conjunto de dados, com passo horário;
  - Caso de uso **Selecionar estação**: O usuário deve informar a estação climática da localidade;
- Caso de uso **Informar anos do experimento**: O usuário deve informar em quais os anos que o experimento será executado;
- Caso de uso **Informar condições iniciais do solo**: O usuário deve informar as condições do solo no início da simulação. Para cada camada do solo são informados os valores de água, amônia e nitrato;
- Caso de uso **Informar parâmetros de controle**: O usuário deve informar parâmetros de controle da simulação, como a existência de doença, consumo de nitrogênio e CO<sub>2</sub>, uso da água, frequência de saída dos resultados do modelo, tipo de calculo usado para a matéria orgânica e resíduos de matéria orgânica e nitrogênio;
- Caso de uso **Informar resultados desejados**: O usuário deve cadastrar os resultados que deseja importar do *CSM-Cropsim:Wheat*;
- Caso de uso **Informar dados de fertilizantes**: O usuário deve cadastrar dados sobre o uso de fertilizantes, nitrogênio e fósforo usados na base e depois a adubação da cobertura;

O caso de uso “executar experimento” possibilita ao usuário executar o experimento cadastrado, informando alguns parâmetros necessários à execução. Já no caso de uso “visualizar resultados”, o usuário pode visualizar e exportar o resultado da simulação, escolhendo a variável que deseja visualizar previamente cadastrada na execução do caso de uso “Informar resultados desejados”.

Por fim, o caso de uso “clonar experimento” permite que seja criada a cópia de um experimento, possibilitando assim modificar um experimento e posteriormente comparar resultados.

Foram levantados outros requisitos, descritos no diagrama de casos de uso exibido na Figura 10. Existe a necessidade de controlar o acesso à aplicação com a autenticação de usuários (Caso de uso “efetuar login”), cadastrados no banco de dados (caso de uso “manter usuários”). A aplicação utiliza alguns parâmetros de configuração, como as pastas onde serão executados os modelos, as pastas onde se encontram os modelos de simulação e o endereço de aplicações para visualização de dados. O caso de uso “Manter parâmetros” da aplicação reflete essa necessidade.

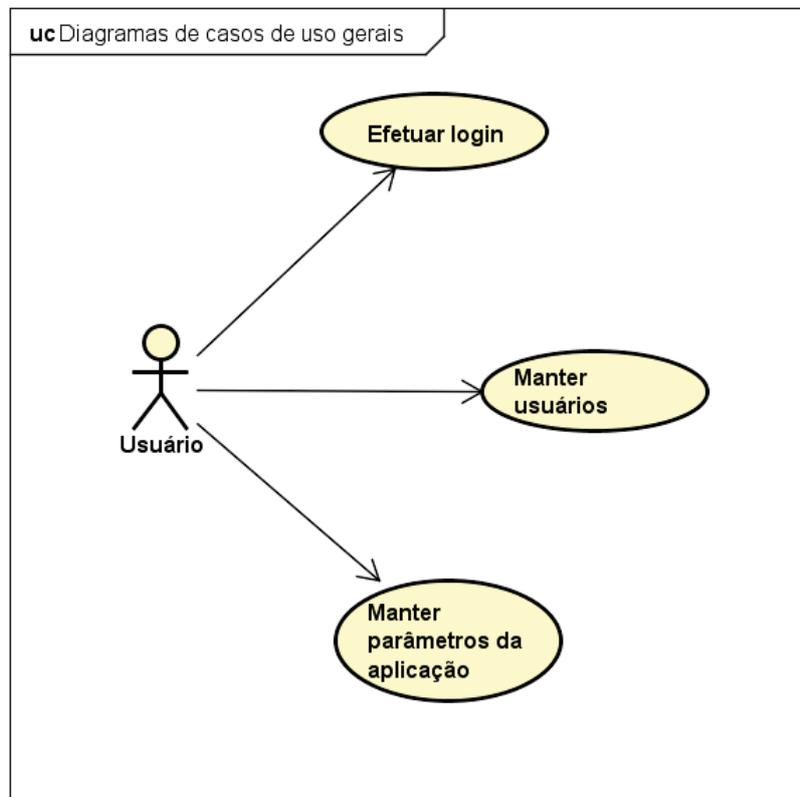


Figura 10. Diagrama de casos de uso gerais.

### 3.2.2 Arquitetura

Para o desenvolvimento da aplicação foi adotado o estilo arquitetural de desenvolvimento em camadas (MVC), e seguiu-se alguns princípios da engenharia de software baseada em componentes para possibilitar o reúso e permitir um fraco acoplamento entre as partes. O componente central da arquitetura é o banco de dados AgroDB, responsável por realizar a integração com os modelos de simulação e o restante da aplicação. A arquitetura pode ser visualizada na Figura 11.

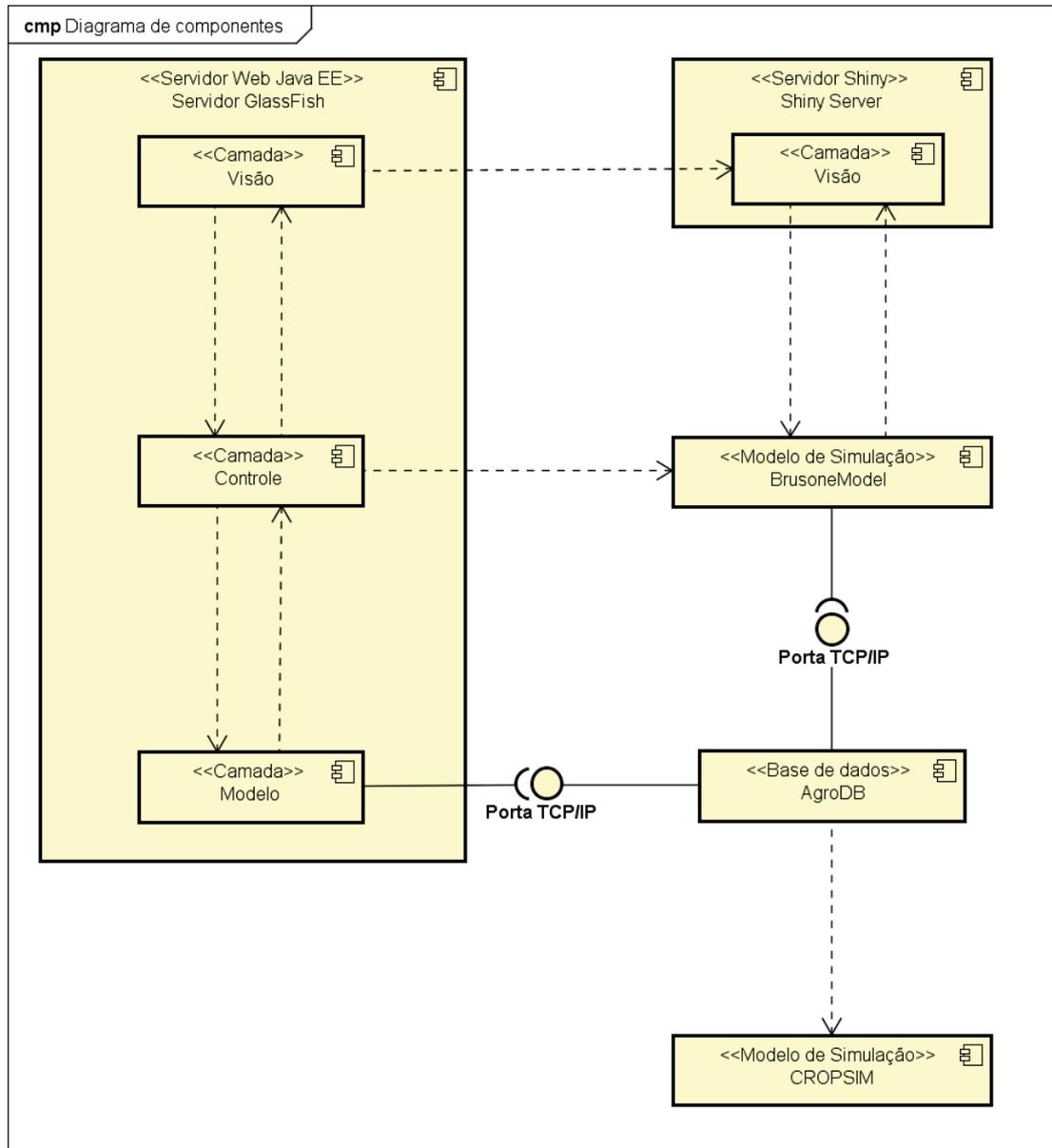


Figura 11. Diagrama de componentes.

O banco de dados AgroDB se comunica diretamente com os modelos de simulação *CSM-Cropsim:Wheat* e o modelo da Brusone e com a camada de modelo. A camada de modelo e o modelo de simulação da Brusone interagem com o banco de dados lendo e escrevendo informações. Em relação ao modelo *CSM-Cropsim:Wheat*, somente o banco de dados se comunica com ele, no sentido de gerar os arquivos para a execução do modelo, executá-lo e ler seus arquivos de saída importando os resultados para o banco de dados.

A camada de modelo possui o mapeamento objeto relacional responsável pela persistência de dados em Java. Além disso, possui configurações necessárias para realizar a validação dos dados de atributos das classes mapeadas, e as mensagens de validação são internacionalizadas em português e inglês. Dessa forma, outras camadas ou aplicações podem utilizar esses recursos de forma centralizada, evitando a redundância de mapeamentos para persistência e validações, e padronizando as mensagens serão exibidas para o usuário.

A camada de controle possui EJBs que fazem uso da camada de modelo para disponibilizar dados para a camada de visão. Ela responde as ações solicitadas pelo usuário, acessando a camada de modelo quando necessário e devolvendo a informação solicitada. Essa camada é responsável pela execução do modelo de simulação da Brusone.

A camada de visão possui duas partes que usam tecnologias distintas. Uma utiliza o framework Java Server Faces e a biblioteca de componentes, e engloba a maior parte dessa camada. O uso desta tecnologia facilita o desenvolvimento de sistemas com banco de dados e interfaces gráficas de usuário. Já a outra parte utiliza o pacote Shiny da linguagem R, que oferece recursos para a visualização de dados e informações em mapas, facilitando a visualização da saída dos modelos de simulação.

### 3.2.3 Ambiente e tecnologias utilizadas

O sistema foi desenvolvido e executado em um notebook Dell Vostro 3550, com processador Intel Core i7 2.7Ghz, com 8GB de memória RAM, armazenamento de 240GB com um HD SSD Kingston e com o sistema operacional Debian 8 Jessie 64 bits. As tecnologias e recursos utilizados no desenvolvimento podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Tecnologias e recursos utilizados

Tipo de recurso	Recurso	Detalhes	Versão
Linguagens de programação	Java	<a href="https://www.oracle.com/java/index.html">https://www.oracle.com/java/index.html</a>	8.0
	R	<a href="https://cran.r-project.org/">https://cran.r-project.org/</a>	3.2.3
Tecnologias do lado do servidor	Java Server Faces (JSF)	<a href="https://javaserverfaces.java.net/">https://javaserverfaces.java.net/</a>	2.2.12
	Enterprise Java Beans (EJB)	<a href="http://goo.gl/0UHekx">http://goo.gl/0UHekx</a>	3.0
	Java Transaction API (JTA)	<a href="http://goo.gl/vuQzgg">http://goo.gl/vuQzgg</a>	-
Tecnologias lado do cliente	Java Server Faces (JSF)	<a href="https://javaserverfaces.java.net/">https://javaserverfaces.java.net/</a>	2.2.12
	Primefaces	<a href="http://primefaces.org/">http://primefaces.org/</a>	5.2
	Shiny	<a href="http://shiny.rstudio.com/">http://shiny.rstudio.com/</a>	0.12.1
Servidores WEB	GlassFish	<a href="https://glassfish.java.net/">https://glassfish.java.net/</a>	4.1.1
	Shiny Server	<a href="https://goo.gl/qgFAY3">https://goo.gl/qgFAY3</a>	1.4.1.759
Tecnologias de banco de dados	PostgreSQL	<a href="http://www.postgresql.org/">http://www.postgresql.org/</a>	9.4
	PLR	<a href="http://www.joeconway.com/plr/">http://www.joeconway.com/plr/</a>	8.3.0.16
	PostGIS	<a href="http://postgis.net/">http://postgis.net/</a>	2.2.0
Ferramentas de desenvolvimento	Netbeans IDE	<a href="https://netbeans.org/">https://netbeans.org/</a>	8.1
	Rstudio Desktop	<a href="https://www.rstudio.com/">https://www.rstudio.com/</a>	0.99.489
Bibliotecas Java	Hibernate ORM	<a href="http://hibernate.org/orm/">http://hibernate.org/orm/</a>	4.3.10
	Hibernate Validator	<a href="http://hibernate.org/validator/">http://hibernate.org/validator/</a>	5.1.3
	Driver JDBC PostgreSQL	<a href="https://jdbc.postgresql.org/">https://jdbc.postgresql.org/</a>	9.4.1201 JDBC 41

### 3.3 COMPONENTES DO SISTEMA

#### 3.3.1 AgroDB

O AgroDB é o componente central da arquitetura. Ele permite a persistência das informações no banco de dados, a criação de experimentos a serem simulados, a execução de funções de integração com os modelos de simulação, a importação dos dados de saída dos modelos de simulação e a visualização dos resultados importados. Com a utilização da extensão PL-R é possível executar funções da linguagem R diretamente pelo banco de dados, como por exemplo, a criação de diretórios no sistema de arquivos, dando suporte aos arquivos e diretórios necessários para a execução dos modelos de simulação. Ele também possui funções da extensão PostGIS, para se trabalhar com dados geográficos.

#### 3.3.2 Modelos de Simulação

##### 3.3.2.1 CROPSIM

O modelo de simulação *CSM-Cropsim:Wheat* faz parte do sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), sendo usado para a simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo. O *CSM-Cropsim:Wheat* é parametrizado por meio de arquivos no formato texto e o fluxo para sua execução é a geração dos arquivos de entrada, a execução do arquivo binário do simulador e a geração dos arquivos contendo a saída do modelo [17] [18].

O modelo foi compilado para ser executado no sistema operacional Linux. O banco de dados AgroDB gera os arquivos necessários para a execução do modelo. Para cada tratamento encontrado na definição de um experimento, o AgroDB cria um diretório com os arquivos necessários e faz uma cópia do executável do *CSM-Cropsim:Wheat*. E, por meio de um script executável (.sh) solicita-se a execução do mesmo, e importa-se os resultados desejados para o banco de dados.

##### 3.3.2.2 Modelo da Brusone no trigo

O modelo da Brusone no trigo foi desenvolvido na linguagem R. Sua execução é realizada por meio de um script executável chamado diretamente pela camada de modelo do sistema. Ele possui funções para prever o inóculo potencial e a incidência da brusone no trigo, além de funções para recuperar os dados gerados pela simulação, utilizados por aplicações Shiny para visualização de dados.

Para a predição do inóculo e da incidência, existem duas funções utilizadas em situações distintas. Uma função recebe o identificador do experimento cadastrado, e possui um acoplamento fraco com o modelo *CSM-Cropsim:Wheat*, utilizando a data do espigamento simulada para calcular o inóculo e a incidência. A segunda função, além de receber o identificador do experimento, recebe

também a data do espigamento, e é utilizada por uma interface gráfica onde o usuário informa a data e pode visualizar os resultados da saída do modelo.

### 3.3.3 Camada de modelo

Esta camada realiza a comunicação com o banco de dados. Ainda nessa camada é realizado o mapeamento objeto-relacional, que estabelece uma relação entre as tabelas do banco de dados com as classes da camada de persistência. Para tanto, foi utilizada a tecnologia da JPA 2.1, que permite tratar todas as questões relacionadas à persistência. A validação dos dados das classes é realizada nessa camada com o uso da especificação da Bean Validation API, implementada pelo framework Hibernate Validator. A API permite verificar a consistência dos dados dos objetos antes de enviá-los para o banco de dados. As mensagens com os erros de validação são internacionalizadas. A camada modelo é um componente de software independente e pode ser reutilizada para outras camadas ou aplicações.

### 3.3.4 Camada de controle

A camada controle é responsiva às ações do usuário, e decide o que deve ser feito, como por exemplo comunicar-se com a camada de modelo ou retornar alguma informação para a camada de visão. Para seu desenvolvimento utilizaram-se as tecnologias de *Java Server Faces* (JSF) e *Enterprise Java Beans* (EJB).

Nessa camada se encontram os *Managed Beans*, que fazem parte da especificação do JSF. *Managed Beans* respondem às ações solicitadas pelo usuário na camada de visão e permitem a comunicação entre as camadas. O uso de EJB foi necessário para o desenvolvimento de componentes que contém a lógica de negócio e o ciclo de vida gerenciado pelo servidor Java EE.

Entre os componentes EJB, estão as classes DAO (*Data Access Object*). Estas classes comunicam-se com o banco de dados e utilizam os mapeamentos realizados na camada de modelo. Eles possuem o gerenciamento transacional realizado pelo banco de dados, fazendo uso da tecnologia de JTA (*Java Transaction API*). Uma classe DAO específica (*StoredProcedureDAO*), possui os mapeamentos necessários para executar os procedimentos armazenados no banco de dados que realizam a integração com o modelo *CSM-Cropsim:Wheat*.

Essa camada é para o uso específico da camada de visão, não sendo aproveitada por outros componentes de software.

### 3.3.5 Camada de visão

A camada de visão é acessada diretamente pelo usuário final no navegador web. Para o seu desenvolvimento foram utilizadas duas tecnologias, o framework JSF e o pacote *Shiny* da linguagem

R. O JSF foi utilizado na grande parte da interface e o pacote *Shiny* em tarefas mais específicas, como a visualização de dados.

### 3.3.5.1 Sistema WEB

A grande parte da camada de visão do sistema foi desenvolvida com o framework Java Server Faces e a biblioteca de componentes Primefaces. O uso dessa tecnologia traz facilidades para o desenvolvimento da interface, por possuir componentes prontos para realizar uma grande parte de tarefas comuns em interfaces de usuário, como exibir registros ou permitir a execução de ações, além de proporcionar interatividade. A Figura 12 exibe uma tela de listagem de experimento e a Figura 13 exibe uma tela para a edição de experimentos.

ID	Descrição	Modelo de simulação	Organização	Data	Opções
93	Disertação Jorge Experimento Data Espigamento Informada pelo usuário 1999-2015	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	14/06/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
95	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná Norte Central 2001-2012 (Aucarana, Londrina, Maringá)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	14/06/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
96	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná Noroeste 2001-2012 (Cianorte, Paranavai, Umuarama)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	14/06/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
97	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná Oeste 2001-2012 (Cascavel, Palotina, Foz do Iguaçu)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	14/06/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
98	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná Centro Ocidental 2001-2012 (Campo Mourão)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	14/06/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
99	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná 2001-2012 (Jaguariaíva)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	07/07/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
100	Disertação Jorge Experimento Brusone Paraná 2001-2012 (Telmaco Borba)	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	07/07/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
101	Disertação Jorge Experimento Brusone Itaberá	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	07/07/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir
103	Treinamento OCB - Experimento GIARAPIVA	CROPSIM WHEAT	Disertação Jorge	24/09/2015	Executar Resultados Brusone Editar Clone Excluir

Figura 12. Tela de listagem de experimentos.

Figura 13. Tela de edição de experimentos.

### 3.3.5.2 Visualização de dados com Shiny

A utilização do *framework Java Server Faces* e da biblioteca de componentes *Primefaces* permite a construção de interfaces de usuário de forma simples e rápida, além de proporcionar a utilização de interfaces ricas. Porém, para a visualização de dados da saída dos modelos de simulação, como mapas e gráficos, as opções citadas não se mostraram uma alternativa eficiente.

A linguagem R proporciona diversas possibilidades para a geração de gráficos, como o pacote *Shiny* que possui vários recursos para a visualização de informações em mapas e suporte à web. Sendo assim, algumas telas para visualização de dados e mapas foram desenvolvidas em *Shiny*, e integradas na camada de visão desenvolvida em JSF. Dessa forma é possível visualizar mapas com o risco da brusone (Figura 14) e gráficos com as informações de saída dos modelos (Figura 15) com os respectivos resultados.

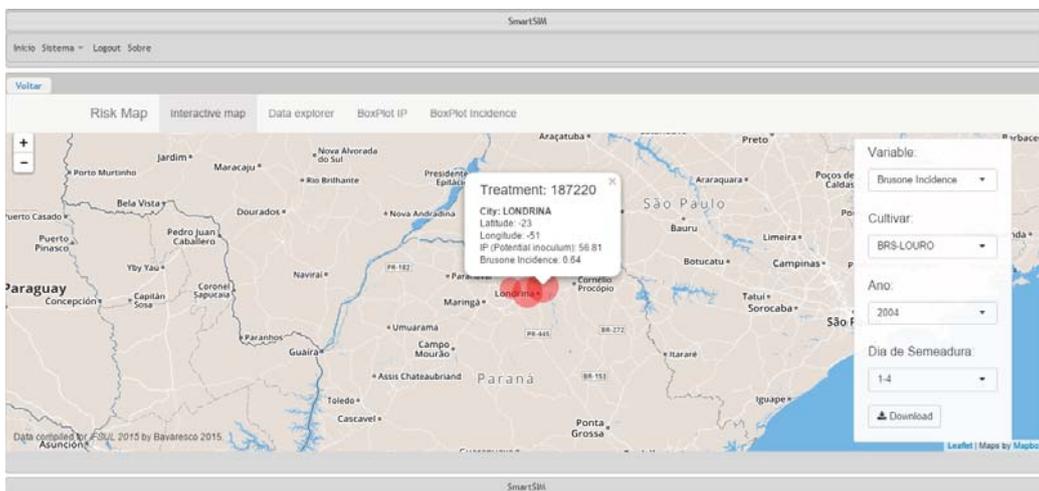


Figura 14. Visualização de mapas com *Shiny*.

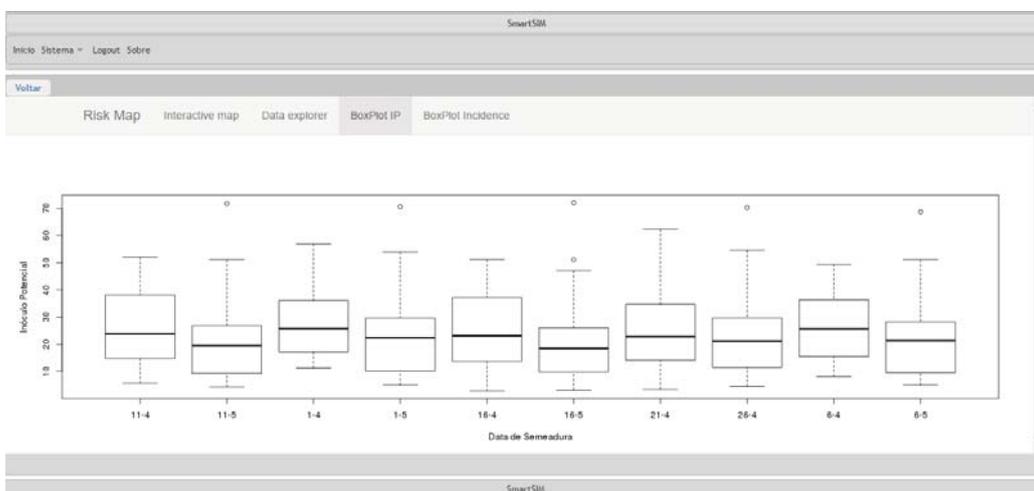


Figura 15. Visualização de gráficos com *Shiny*.

### 3.3.6 Servidor GlassFish

O servidor GlassFish é utilizado por implementar a especificação completa do Java EE, possibilitando assim o uso de EJB e JTA. Nele ficam hospedados as camadas de modelo e controle, além de grande parte da camada de visão. No GlassFish é configurado um pool de conexões com o banco de dados, e o servidor fica desta forma responsável por gerenciar as conexões da aplicação com o banco de dados e ainda cuidar do aspecto transacional.

### 3.3.7 Shiny Server

O Shiny Server é um servidor para a execução de aplicações Shiny. Dentro dele se encontram pequenas aplicações para a visualização de dados e mapas, úteis para analisar a saída dos modelos de simulação. A integração com o restante da camada de visão se dá por meio de requisições http.

## 3.4 RISCO DE EPIDEMIAS DA BRUSONE DO TRIGO

O modelo preditivo para o risco de epidemias da brusone do trigo foi projetado com dois componentes: a carga de inóculo e a infecção.

O primeiro utiliza modelos para estimar o tempo inicial da doença e para derivar a severidade inicial em função das condições agrometeorológicas antes do aparecimento dos sintomas. O tempo de início da doença é modelada como uma função do tempo de acumulação hidrotermal. A abordagem específica do patossistema é implementada no componente carga de inóculo, para simular o aparecimento da doença brusone (agente causal: *Magnaporthe oryzae Couch*). Foi originalmente desenvolvido por Arai e Yoshino [100] e estima a taxa de progresso da formação de conidióforos em função da temperatura do ar por hora, em que “*temp*” é a temperatura do ar por hora.

Esse modelo foi melhorado por Kim [101], o qual fixou um limiar de umidade relativa do ar (93%), que estipulou que abaixo dessa taxa a acumulação hidrotermal não é computada, adaptando-a às condições de crescimento do arroz sul coreano. A taxa de carga de inóculo diária, obtida pela soma da carga de inóculo horária é acumulada e a doença se propaga quando um limite de inóculo é atingido. Para o patossistema do trigo *Magnaporthe oryzae* esse limite foi definido empiricamente em 40, valor que foi ajustado durante a concepção do modelo. O pseudo código da função da carga de inóculo pode ser visualizado na Tabela 2 na qual “*temp*” é a temperatura do ar por hora em graus celcius e “*rh*” a umidade relativa por hora.

Tabela 2. Pseudo código da função da carga de inóculo.

---

```

1. SE (temp >= 15 E temp <= 27 E rh > 93) ENTÃO
2.   1/(14.35 - 0.25 * temp)
3.   SENÃO
4.     SE (temp >= 27 E temp < 35 E rh > 93) ENTÃO
5.       1/(-8.5 + 0.59 * temp)
6.       SENÃO
7.         0
8.     FIM SENÃO;
9.   FIM SE;
10. FIM SENÃO;
11. FIM SE;

```

---

O componente carga de inóculo sumariza a eficiência de infecção, esporulação e a dispersão de conídios no vento, determinando as condições do ambiente para o desenvolvimento do *Magnaporthe oryzae* em ervas daninhas e outros hospedeiros.

Já o segundo, o processo de infecção aéreo de conídios de *Magnaporthe oryzae* em espigas do trigo, foi simulado usando o modelo de passo horário considerando a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação pluvial. O modelo é aplicado após a data do espigamento, levando em consideração o valor da carga de inóculo. O primeiro passo é descobrir se a carga de inóculo possui capacidade de infecção ou não, e isso foi modelado conforme o pseudocódigo apresentado na Tabela 3, onde “*ip*” é a carga de inóculo. A função retorna um valor (0 ou 1) representado sim ou não, possuindo ou não capacidade de infecção.

Tabela 3. Pseudocódigo da função que verifica se o inóculo gera risco de infecção.

---

```

1. SE (ip >= 40) ENTÃO
2.   ip RECEBE 1
3.   SENÃO SE (ip < 10 ) ENTÃO
4.     ip RECEBE 0
5.     SENÃO
6.       ip RECEBE (-0.24 + 0.032 * ip)
7.       FIM SENÃO;
8.   FIM SE;
9. FIM SE;
10. SE (ip > 1) ENTÃO
11.   ip RECEBE 1
12. FIM SE;

```

---

O modelo estimará, pelos 30 dias posteriores, a data de espigamento e o percentual de infecção da doença, caso exista o risco de infecção, em passo horário. Primeiramente é aplicado um

modelo para verificar se as condições são adequadas a infecção, considerando a temperatura do ar por hora (*temp*) e a umidade relativa por hora (*rh*). A função que foi denominada (CB) pode ser visualizada na Tabela 4. Sabendo-se o valor de (CB) estima-se o percentual de infecção horário, considerando o risco de infecção conforme a carga de inóculo (*ip*), a quantidade de chuva horaria em milímetros (*rain*) e o valor de (*cb*). A função modelada pode ser visualizada na Tabela 5.

Tabela 4. Pseudocódigo da função CB.

---

1.	SE ( <i>temp</i> >= 15 E <i>temp</i> < 35 E <i>rh</i> > 93) ENTÃO
2.	1
3.	SENÃO
4.	0
5.	FIM SENÃO;
6.	FIM SE;

---

Tabela 5. Pseudo código da função do risco.

---

1.	SE ( <i>ip</i> > 0) ENTÃO
2.	SE ( <i>rain</i> > 5) ENTÃO
3.	(0.15 * exp(0.19 * <i>cb</i> )) /58
4.	SENÃO
5.	(0.47 * exp(0.20 * <i>cb</i> )) /58
6.	FIM SENÃO;
7.	FIM SE;
8.	SENÃO
9.	0
10.	FIM SENÃO;
11.	FIM SE;

---

O modelo preditivo para o risco de epidemias da brusone do trigo depende de informações geradas pelo modelo de simulação *CSM-Cropsim:Wheat*, criando um acoplamento entre os dois modelos. Uma boa abordagem no desenvolvimento de soluções é o acoplamento de modelos já existentes, aproveitando conhecimento legado [102], e optando pelo desenvolvimento de novo software somente quando necessário. Para tal, deve-se identificar os componentes que devem ser ligados, de modo a se realizar um projeto arquitetural adequado, minimizando possíveis problemas de integração [103]. A informação extraída após a execução do modelo *CSM-Cropsim:Wheat* é a data de espigamento, utilizada pelo modelo da brusone para estimar a carga de inóculo e o percentual de infecção.

O estudo de Brandmeyer e Karimi [104] define metodologias para o acoplamento de modelos ambientais, considerando a arquitetura utilizada e a forma que o acoplamento é realizado. Por meio desse estudo pode-se avaliar o nível de acoplamento entre modelo da brusone e o modelo

*CSM-Cropsim:Wheat*, o qual se encaixa em um acoplamento de segundo nível. Esse acoplamento (*loose coupling*) é fraco porque o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* é executado primeiro para se obter a data do espigamento e com ela a execução do modelo da brusone.

### 3.5 ESTUDO DE CASO

Para avaliar o sistema desenvolvido que realiza a integração com o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* com o modelo da brusone, foi realizado um estudo de caso. Esse consiste na criação e execução de experimentos para o estado do Paraná, a fim de avaliar o desenvolvimento da brusone ao longo dos anos e com diferentes localidades e datas de semeadura. Foram definidas quatro mesorregiões do Paraná cada uma com algumas localidades, as quais podem ser visualizadas na Tabela 6. Foram utilizados 12 anos de dados meteorológicos observados, no período entre 2001 e 2012, fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

Tabela 6. Definição dos experimentos do estudo de caso.

Mesorregião	Localidades	Iniciar Semeadura
Norte Central	Apucarana, Londrina, Maringa	01/04/2001
Noroeste	Cianorte, Paranavaí, Umuarama	26/03/2001
Oeste	Cascavel, Palotina, Foz do Iguaçu	15/04/2001
Centro Ocidental	Campo Mourão	20/04/2001
Cultivar - Louro		
Intervalo de 5 dias entre as datas de semeadura		
10 épocas de semeadura simuladas a partir da data inicial até o ano de 2012		

Para cada mesorregião foi realizado um experimento, com 10 datas de semeadura criadas a partir de uma data inicial, com intervalo de 5 dias entre cada data de semeadura, nos anos de 2001 a 2012. O cultivar utilizado foi o louro e os dados de solo foram fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Os experimentos totalizaram 10 localidades com 10 datas de semeadura para 12 anos, que gerariam um fatorial de 1200 tratamentos (10 localidades \* 10 datas de semeadura \* 12 anos). No entanto, devido a falhas no conjunto de dados, foram gerados apenas 1177 tratamentos.

O processo de criação dos experimentos é semelhante para cada mesorregião e para qualquer experimento que se deseje criar. Para exemplificar o processo, a seguir serão descritas as etapas de criação do experimento para a mesorregião do norte central do Paraná.

O acesso a manutenção dos experimentos é realizado por meio de um menu na tela principal da aplicação que inicialmente exibe os experimentos já cadastrados (Figura 12). Nesta tela, ao se clicar no botão novo experimento, se inicia o cadastro do experimento em um formato passo a passo, onde o usuário deve informar os dados de cada tela, e clicar no botão “próximo” até passar por todas as etapas culminando no salvamento do experimento. Na primeira tela, apresentada na Figura 16, informam-se os dados básicos do experimento, como a descrição, a data de cadastro, o usuário que o cadastrou, o modelo de simulação e a organização.

SmartSIM

Início Sistema - Logout Sobre

Edição de experimentos

Dados Principais | Datas do Experimento | Cultivar do experimento | Datas de semeadura | Localidade | Anos do experimento | Resultados desejados

Parâmetros de controle | Condições iniciais do solo | Fertilizantes | Finalizar

Dados Principais

ID	95
Descrição	Dissertação Jorge Experimento Brusone Paraná Norte Central 2001-2012 (Aucarana, Londrina, Maringá)
Data *	14/06/2015
Pessoa	Jorge Luis Boeira Bavaresco
Modelo de simulação	CROPSIM WHEAT
Organização	Dissertação Jorge

Ir para o último passo

Proximo

SmartSIM

Figura 16. Tela dos dados principais do cadastro do experimento.

Na próxima tela (Figura 17) são informadas as datas de início e fim do experimento. O campo “número de dias anteriores à data de semeadura”, indica o número de dias anteriores a data de semeadura que iniciou o experimento pelo modelo *CSM-Cropsim:Wheat*. Já o campo “intervalo de dados meteorológicos”, determina o número de dias, anterior e posterior à data de semeadura, que delimitam o intervalo dos dados meteorológicos. Quando informado com valor zero, indica que serão usados todos os dados meteorológicos do conjunto de dados. Por fim, o “campo anos de prognóstico” é utilizado quando se tem dados meteorológicos de prognósticos e indica o número de anos adicionados nas datas.

SmartSIM

Início Sistema - Logout Sobre

Edição de experimentos

Dados Principais | Datas do Experimento | Cultivar do experimento | Datas de semeadura | Localidade | Anos do experimento | Resultados desejados

Parâmetros de controle | Condições iniciais do solo | Fertilizantes | Finalizar

Datas do Experimento

Data de início	01/04/2001
Data de fim	01/04/2012
Numero de dias anteriores à data de semeadura	40
Intervalo dos dados meteorológicos	0
Anos de prognóstico	0

Ir para o último passo

Voltar Proximo

SmartSIM

Figura 17. Tela das datas do experimento.

Na próxima etapa do cadastro, se informa o cultivar ou os cultivares que serão utilizados no experimento. Seleciona-se o cultivar desejado e aciona-se o botão “adicionar cultivar” para incluir o cultivar na lista de cultivares do experimento. A tela responsável por tal tarefa pode ser visualizada na Figura 18.

Figura 18. Tela dos cultivares do experimento.

A etapa seguinte permite o cadastro de datas de sementeira do experimento, e pode ser visualizada na Figura 19. Pode-se informar o dia e o mês da data de sementeira manualmente, ou informar o dia e mês inicial, a quantidade de datas de sementeira e o número de dias entre as datas, e gerá-las automaticamente.

Dia	Mês	Opções
1	4	Excluir
6	4	Excluir
11	4	Excluir
16	4	Excluir
21	4	Excluir
26	4	Excluir
1	5	Excluir
6	5	Excluir
11	5	Excluir
16	5	Excluir

Figura 19. Tela das datas de sementeira do experimento.

Em seguida informa-se as localidades onde serão executadas o experimento. Para cada localidade deve-se informar um tipo de solo, um conjunto de dados climáticos, com passo diário que é utilizado pelo modelo *CSM-Cropsim:Wheat*, e outro conjunto de dados climáticos com passo horário, que deve ser informado quando se deseja executar o modelo da brusone. Os dados de solo e clima devem estar previamente cadastrados no banco de dados. A tela do conjunto de localidades do experimento pode ser visualizada na Figura 20.

SmartSIM

Início Sistema - Logout Sobre

Edição de experimentos

Dados Principais Dadas do Experimento Cultivar do experimento Dadas de sementeira Localidade Anos do experimento Resultados desejados

Parâmetros de controle Condições iniciais do solo Fertilizantes Finalizar

Localidade

Novo registro

Estação	Solo	Dados Climáticos	Dados Climáticos para Doença	Opções
LONDRINA	IP00980034 SCS CL 150 LRE	LONDRINA Diário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	LONDRINA Horário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Excluir
MARINGÁ	IP00980001 SCS cl. 180 TRE	MARINGÁ Diário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	MARINGÁ Horário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Excluir
APUCARANA	IP00980034 SCS CL 150 LRE	APUCARANA Diário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	APUCARANA Horário - Simepar Dissertação Jorge 1999-10-01-2015-06-14	<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Excluir

Ir para o último passo

SmartSIM

Figura 20. Tela das localidades do experimento.

Após informar as localidades do experimento, deve-se informar para quais anos o experimento será executado. Informa-se o ano inicial e o ano final e aciona-se o botão “adicionar intervalo de anos”. A tela pode ser visualizada na Figura 21.

SmartSIM

Início Sistema - Logout Sobre

Ano Inicial  Ano Final

Adicionar intervalo de anos Remover todos os anos

Ano	Opções
2001	<input type="checkbox"/> Excluir
2002	<input type="checkbox"/> Excluir
2003	<input type="checkbox"/> Excluir
2004	<input type="checkbox"/> Excluir
2005	<input type="checkbox"/> Excluir
2006	<input type="checkbox"/> Excluir
2007	<input type="checkbox"/> Excluir
2008	<input type="checkbox"/> Excluir
2009	<input type="checkbox"/> Excluir
2010	<input type="checkbox"/> Excluir
2011	<input type="checkbox"/> Excluir
2012	<input type="checkbox"/> Excluir

Ir para o último passo

SmartSIM

Figura 21. Tela dos anos do experimento.

O próximo passo do cadastro do experimento solicitará resultados que se desejam extrair dos arquivos de saída do modelo de simulação *CSM-Cropsim:Wheat*. Esses arquivos de saída são arquivos de texto, e um dos principais arquivos da saída chamado *OVERVIEW.OUT* pode ser visualizado na Figura 22. Para o caso da execução do modelo da brusone, o objetivo é saber quantos dias se passaram após a data de sementeira para ocorrer o espigamento. Essa informação encontra-se no arquivo *OVERVIEW.OUT*, próximo ao texto *Inflorescence emergence (DAP)*, na coluna 38 do arquivo de texto. Assim para cada resultado que se deseja importar, seleciona-se uma variável, o tipo de dado a ser importado, o nome do arquivo onde será realizada a busca pelo dado, o texto que será buscado, a posição inicial do valor, o tamanho do campo, um valor de conversão ( caso

se deseje converter a unidade de medida utilizada pelo modelo *CSM-Cropsim:Wheat*) e a sequência em que a informação será importada. A tela com os resultados desejados pode ser visualizada na Figura 23.

```

SIMULATION_OVERVIEW
*RUN 1   EXPERIMENT 1,0 BRS-LOURO (193048)

MODEL
MODEL SWITCHES   Water: Y Nitrogen: Y
MODULE           CSCRPO60
MODULE SWITCHES  Photosynthesis: P
FILE             00193048.WHX
EXPERIMENT       EXPERIME NT : 98 - Treatment: 193048
TREATMENT 1     BRS-LOURO
GENOTYPE         WHBR0003 BRS-LOURO
ENVIRONMENT      Tmax (max): 30.3 Tmin (min): -0.5 Co2 (max): 350

PLANTING        Apr 20 2001110 300 plants/m2 in 17 cm rows

STAGE DATES AND STATES, AND PHASE STRESSES
YEARDOY DOM MON DAP STAGE/PHASE   CWAD LAID  LNUM  CNAD  CN%D WSPAV NSPAV
2001113 23 Apr  3 1 Germination      0 0.00  0.0   0    0.0 0.00 0.00
2001155  4 Jun 45 2 T.Spikelet    1478 2.69  8.7   75   5.1 0.00 0.03
2001167 16 Jun 57 3 Pseudo_Stem   2547 4.32 11.3  124  4.9 0.00 0.08
2001185  4 Jul 75 4 End_Leaf      3013 4.62 13.8  138  4.6 0.00 0.11
2001188  7 Jul 78 5 Head_Emerge   3361 4.39 13.9  137  4.1 0.00 0.11
2001193 12 Jul 83 6 Anthesis       3916 4.05 13.9  136  3.5 0.00 0.11
2001196 15 Jul 86 7 End_Anthesis 4404 3.94 13.9  135  3.1 0.00 0.11
2001205 24 Jul 95 8 Begin_G.Fill 5617 3.47 13.9  134  2.4 0.00 0.11
2001232 20 Aug 122 9 End_G.Fill   9777 0.86 13.9  163  1.7 0.00 0.11

SIMULATED-MEASURED COMPARISONS
VARIABLE..... SIMULATED   MEASURED
Germination (DAP)           3          -99
Emergence (DAP)             4          -99
Double ridges (DAP)        29          -99
Terminal spikelet (DAP)    45          -99
Inflorescence emergence (DAP) 78          -99
Anthesis (DAP)             83          -99
Maturity (DAP)            122          -99
Assimilation+seed (kg dm/ha) 13820       -99
Above ground (kg dm/ha)    9822       -99
Roots+seed residue (kg dm/ha) 878        -99
Senesced (kg dm/ha)       2200       -99

```

Figura 22. Arquivo *OVERVIEW.OUT*.



Figura 23. Tela dos resultados desejados.

Em seguida são estabelecidos alguns parâmetros de controle da simulação, onde configura-se a existência de doença, o controle de consumo de nitrogênio e  $CO_2$ , o uso da água, a frequência de saída dos resultados do modelo, o tipo de calculo usado para a matéria orgânica e os resíduos de matéria orgânica e nitrogênio. A tela onde se informam os parâmetros pode ser visualizada na Figura 24.

Figura 24. Tela dos parâmetros de controle do experimentos.

Também é possível nesse modelo informar as condições iniciais do solo no início da simulação. Para cada camada são informados os valores de água no solo, amônio e nitrato. A Figura 25 exibe essas informações.

Sequencia	Camada	Água	Amônio	Nitrato	Opções
1	10	0.41	6.8	19.6	Excluir

Figura 25. Tela das condições iniciais do solo.

Por fim, informa-se o uso de fertilizantes, nitrogênio e fósforo, sendo possível especificar a adubação usada na base e depois a adubação usada na cobertura. O campo “data” especifica o número de dias após a data de semeadura que será realizada a adubação para aquele tratamento. A tela com essas informações pode ser visualizada na Figura 26.

Sequencia	Data	FMCD	FADC	FDEP	FAMN	FAMP	Opções
1	0	1	-99	5,0	20,0	100,0	Excluir
1	52	1	-99	1,0	80,0	-99,0	Excluir

Figura 26. Tela dos fertilizantes.

Com o cadastro do experimento completo, pode-se passar a etapa de execução. A tela com a listagem de experimentos (Figura 12) possui um botão executar, que quando acionado exibe uma tela para a entrada dos parâmetros necessários a execução do experimento (Figura 27). Pode-se especificar o tipo dos dados de solo, cultivares e clima utilizados, bem como a quantidade de  $CO_2$  na atmosfera (Gas) e o intervalo de tratamentos a serem executados. Ainda, pode-se executar somente o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* (botão executar) ou executar o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* e o modelo da brusone (botão executar brusone).

Figura 27. Tela dos parâmetros para execução do experimento.

O tempo de execução varia conforme a quantidade de tratamentos que o experimento possui e o modelo selecionado. O modelo da brusone consome mais tempo pois são necessárias mais operações para calcular o inóculo potencial e a incidência da brusone, após a execução do modelo *CSM-Cropsim:Wheat*, que obtém a data de espigamento. O tempo de execução dos experimentos pode ser visualizado na Tabela 7, que ilustra as medições realizadas.

Tabela 7. Tempo de execução dos experimentos

Experimento	Tempo de execução em segundos	
	Modelo <i>CSM-Cropsim:Wheat</i>	Modelo da brusone
Apucarana, Londrina, Maringa	35	396
Cianorte, Paranaíba, Umuarama	34	373
Cascavel, Palotina, Foz do Iguaçu	36	381
Campo Mourão	12	121
Tempo médio por localidade (segundos)	11,7	127,1
Tempo médio por tratamento (segundos)	0,0994	1,0799

Na tela de listagem de registros (Figura 12), ao se clicar no botão resultados, pode-se visualizar a saída do modelo de simulação, conforme os resultados esperados que foram cadastrados no experimento. A Figura 28 ilustra a tela com a visualização dos resultados, onde se escolhe a variável que se quer visualizar e realizar o download do resultado em formato texto para utilização em outras ferramentas.

Cultivar	Local	Data Semeadura	Valor
BRS-LOURO	MARINGA	01/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	06/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	11/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	16/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	21/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	26/04/2001	0.15
BRS-LOURO	MARINGA	01/05/2001	0.11
BRS-LOURO	MARINGA	06/05/2001	0.12
BRS-LOURO	MARINGA	11/05/2001	0.12
BRS-LOURO	MARINGA	16/05/2001	0.08
BRS-LOURO	MARINGA	01/04/2002	0.34
BRS-LOURO	MARINGA	06/04/2002	0.45
BRS-LOURO	MARINGA	11/04/2002	0.42
BRS-LOURO	MARINGA	16/04/2002	0.39
BRS-LOURO	MARINGA	21/04/2002	0.39
BRS-LOURO	MARINGA	26/04/2002	0.34
BRS-LOURO	MARINGA	01/05/2002	0.34

Figura 28. Visualização dos resultados.

A tecnologia utilizada no desenvolvimento da ferramenta não possui muitas possibilidades para a visualização de gráficos ou dados. Dessa forma, foi criada uma pequena aplicação web para visualização de dados utilizando-se o pacote *Shiny* da linguagem R, integrando a solução web original. Ela foi criada especificamente para se visualizar o resultado da execução do modelo da Brusone, permitindo a visualização dos dados em um mapa e a geração de gráficos.

Na Figura 29 pode-se visualizar a aplicação criada com o Shiny, permitindo a visualização dos resultados em um mapa. Pode-se escolher o ano e data de semeadura que se deseja visualizar,

bem como o cultivar e a incidência da brusone, ou o inóculo potencial. Nessa tela também é possível efetuar o download do resultado da simulação em formato csv e utilizar outras abas para a visualização dos resultados. A Figura 30 exibe a visualização dos dados em formato tabular, e as Figuras 31 e 32 exibem respectivamente gráficos do inóculo potencial e incidência da brusone, agrupando a informação por data de semeadura.

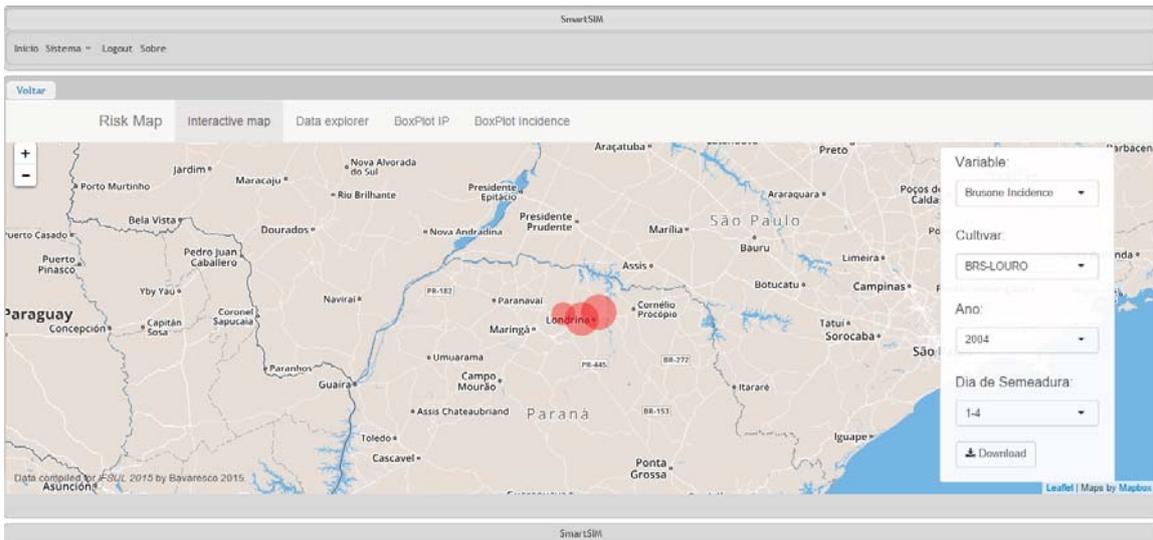


Figura 29. Aba da aplicação *Shiny* com mapa.

The screenshot shows the 'Data explorer' tab of the Shiny application. The data table is displayed with the following columns and values:

treatment	semeadura	ano	dia	city	latitude	longitude	cultivar	heading_date	ip	incidence	status	Action
186980	2004-04-01	2004	1-4	MARINGA	-23.2428	-51.56	BRS-LOURO	2004-06-05	29.97	0.42	OK	
187100	2004-04-01	2004	1-4	APUCARANA	-23.3000	-51.32	BRS-LOURO	2004-06-15	46.50	0.62	OK	
187220	2004-04-01	2004	1-4	LONDRINA	-23.2200	-51.10	BRS-LOURO	2004-06-11	56.81	0.64	OK	

The table also includes a search bar and pagination controls at the bottom, showing 'Showing 1 to 3 of 3 entries' and 'Previous 1 Next'.

Figura 30. Aba da aplicação *Shiny* com dados tabulares.

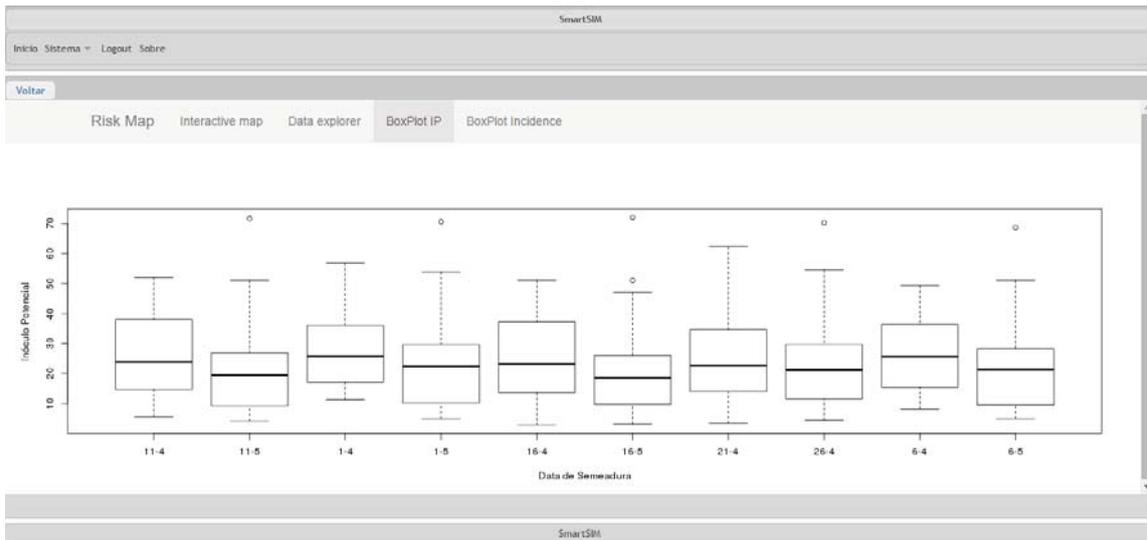


Figura 31. Aba da aplicação *Shiny* com gráfico do inóculo potencial .

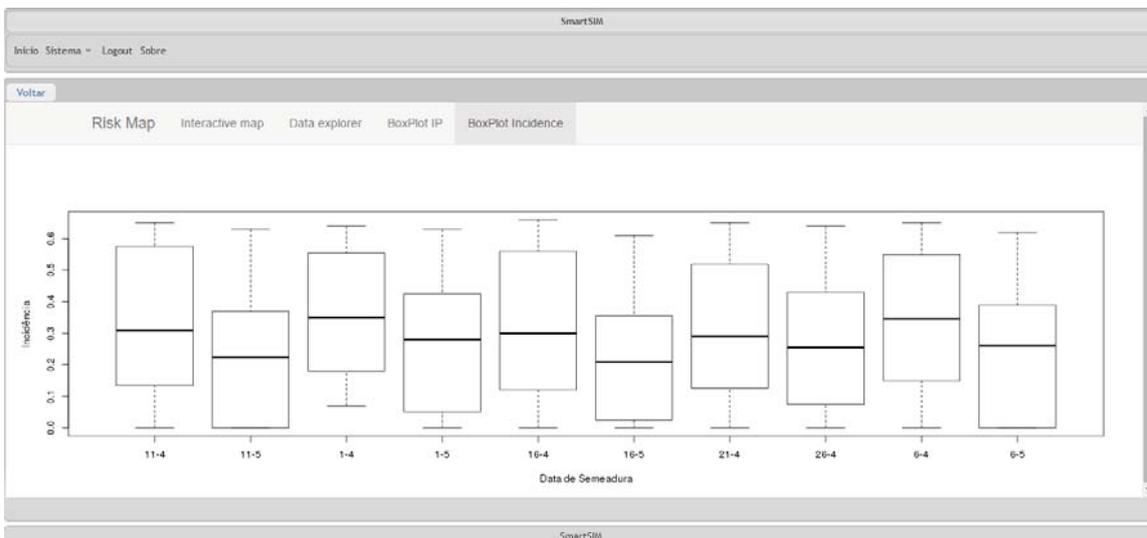


Figura 32. Aba da aplicação *Shiny* com gráfico da incidência da brusone.

O risco de epidemias no Brasil poderá ser avaliado por meio dos experimentos criados para o Estado do Paraná. Já para os Estados Unidos, foi criado um experimento para o Estado do Kentucky (EUA), cuja definição pode ser visualizada na Tabela 8. O experimento foi criado da mesma forma que o experimento para o Estado do Paraná.

Tabela 8. Definição do experimento do estudo de caso para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos.

Estado	Localidades	Iniciar Semeadura
Kentucky	Princeton, Benton, Hopkinsville e Marion	10/10/2009
Cultivar - NEWTON		
Intervalo de 3 dias entre as datas de semeadura		
5 épocas de semeadura simuladas a partir da data inicial até o ano de 2014		

Para efetuar análises sobre o risco da doença em outras localidades do Estado do Kentucky (EUA), e cujos conjuntos de dados climáticos não possuíam a variável da radiação solar, não foi possível executar o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* para se obter a data do espigamento. Porém, o conjunto de dados possuía a temperatura, a umidade relativa e a precipitação pluvial, tornando possível a execução do modelo da brusone. Nesse caso, para avaliar o risco de epidemias da brusone, foi criado um experimento na ferramenta seguindo os mesmos passos utilizados na criação dos experimentos do Paraná. Em seguida, criaram-se duas aplicações com o *Shiny* para executar o modelo e visualizar os dados.

Na primeira aplicação, seleciona-se a localidade desejada e informa-se a data do espigamento. Logo será gerado um gráfico que exibe a saída do modelo. No gráfico de saída são exibidos os valores de temperatura (*temp*), umidade relativa (*rh*), precipitação pluvial (*rain*), o inóculo potencial (*hcp*) e o inóculo potencial acumulado (*chcp*). Essa aplicação utiliza dois experimentos cadastrados, um para o Estado do Paraná no Brasil e outro para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos. Assim, pode-se selecionar a localidade do Brasil e dos Estados Unidos e utilizar a ferramenta para fazer comparações do resultado dos modelos. A Figura 33 exibe um gráfico para o Brasil e a Figura 34 um gráfico para os Estados Unidos.

### Weather-Based Wheat Blast Risk Factors

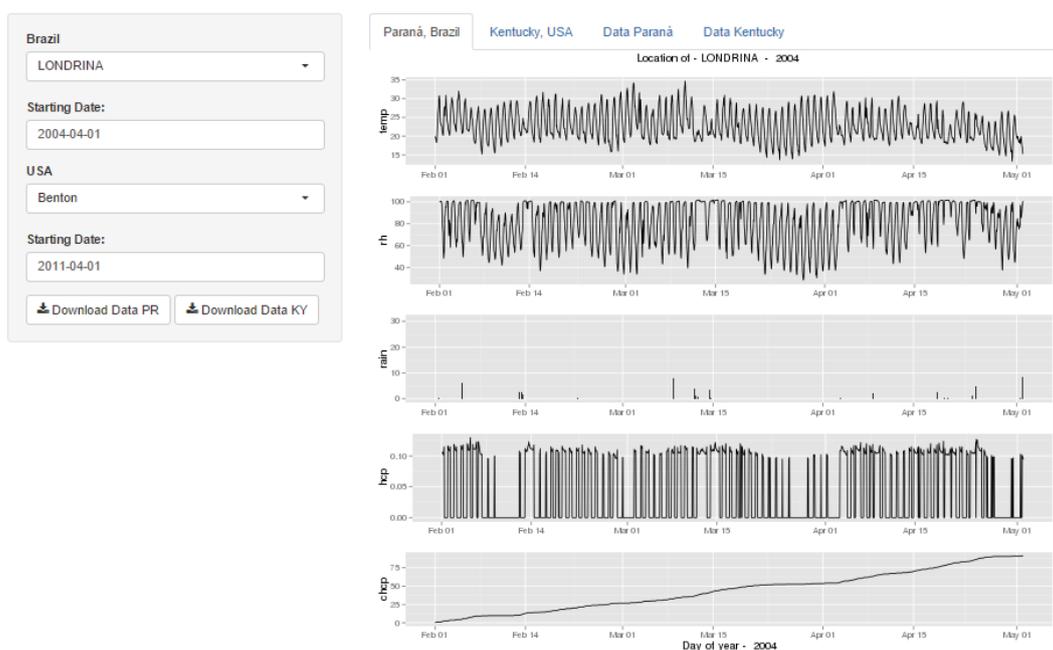


Figura 33. Aplicação *Shiny* com gráficos para o estado do Paraná no Brasil.

## Weather-Based Wheat Blast Risk Factors

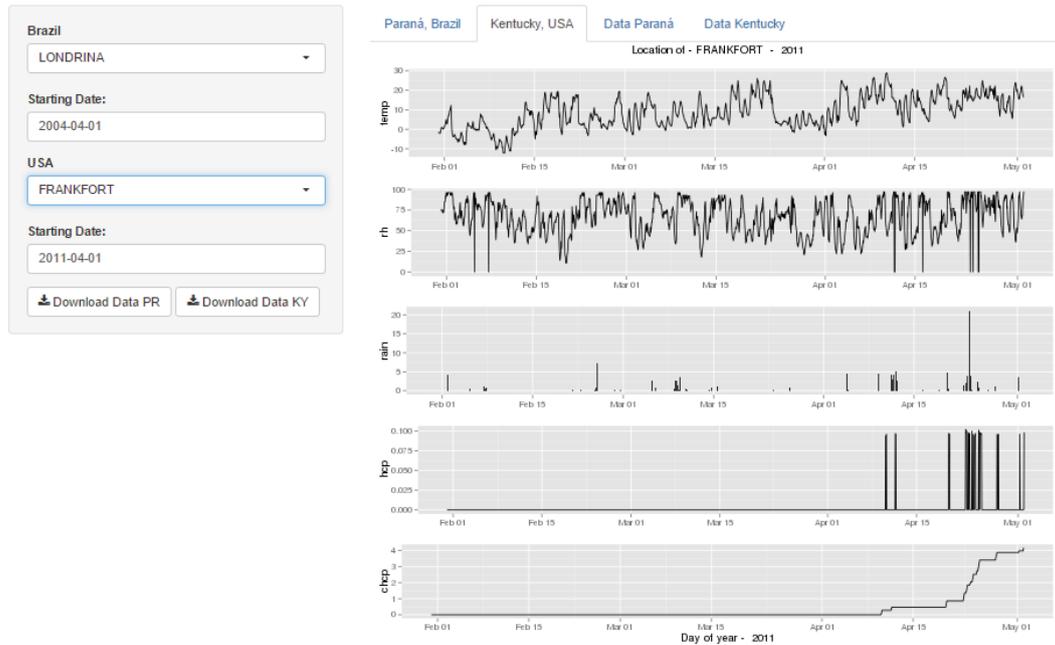


Figura 34. Aplicação *Shiny* com gráficos para o estado do Kentucky nos Estados Unidos.

Já a segunda aplicação permite que o pesquisador informe uma data de espigamento e execute o modelo, visualizando a saída em um mapa de risco. Pode-se visualizar no mapa o resultado de saída do inóculo potencial ou da incidência da brusone. A Figura 35 exibe visualização do mapa para o experimento do Estado do Kentucky nos Estados Unidos e a Figura 36 exibe o mapa para o experimento do Estado do Paraná. Os dados podem ser visualizados em formato tabular (Figura 37).

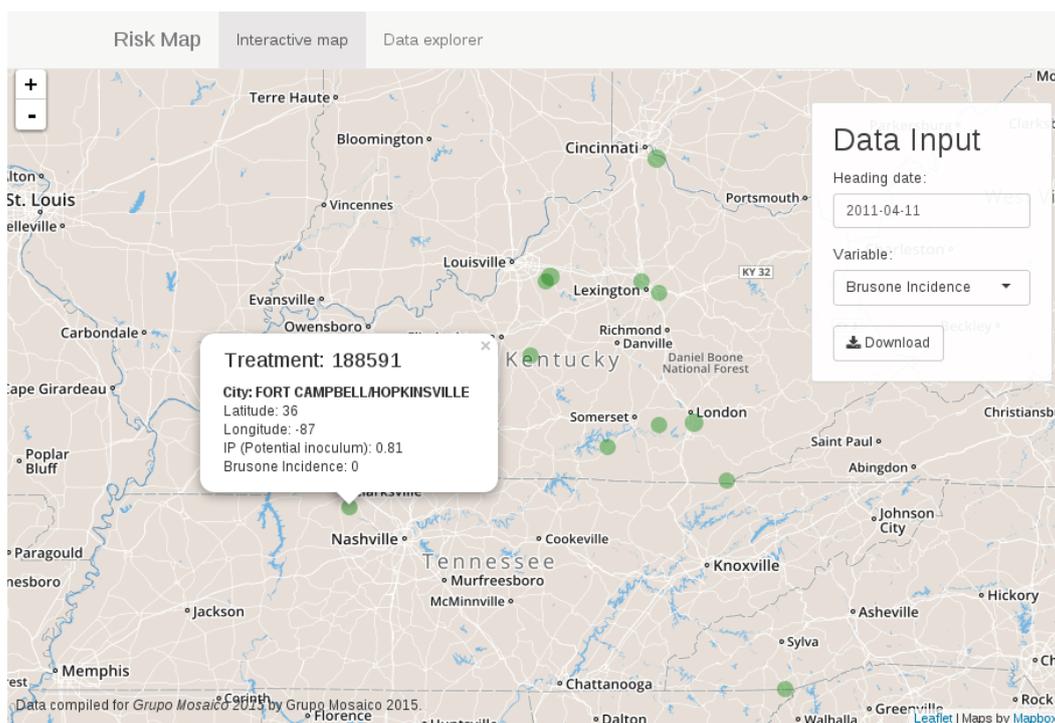


Figura 35. Aplicação *Shiny* com mapa de risco para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos.

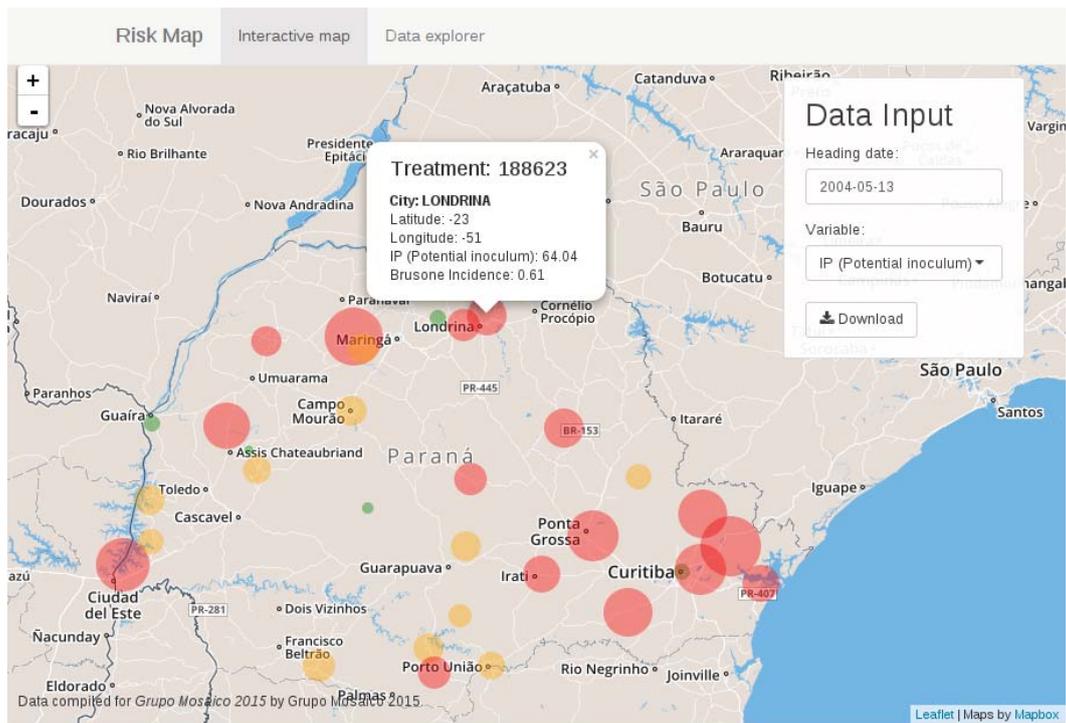


Figura 36. Aplicação *Shiny* com mapa de risco para o Estado do Paraná no Brasil.

treatment	city	latitude	longitude	ip	incidence	Action
193254	CAMPO MOURAO	-24.0499	-52.3666	45.94	0.63	✕
193255	CANDIDO DE ABREU	-24.6332	-51.2500	48.22	0.63	✕
193256	SANTA HELENA	-24.8212	-54.2700	62.74	0.62	✕
193257	Foz do Areia	-26.0832	-51.6500	35.29	0.00	✕
193258	FOZ DO IGUACU	-25.3770	-54.5209	83.83	0.66	✕
193259	GUAIRA	-24.1561	-54.2474	30.73	0.00	✕
193260	GUARATUBA	-25.5332	-48.5166	62.10	0.63	✕
193261	CURITIBA	-25.4332	-49.2666	17.51	0.00	✕
193262	JAGUARIAIVA	-24.6165	-49.6666	31.03	0.00	✕
193263	LAPA	-25.7832	-49.7666	53.62	0.63	✕
193264	PALMITAL	-24.8832	-52.2166	22.22	0.00	✕
193265	SAO MIGUEL DO IGUACU	-25.1750	-54.2629	50.80	0.61	✕

Figura 37. Visualização dos dados do mapa de risco para o Estado do Paraná no Brasil.

### 3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão para o manejo do risco da brusone no trigo. Como a informação pode ser considerada a matéria-prima para a tomada de decisão, a criação e execução dos experimentos gerou informação útil para o entendimento do desenvolvimento da doença. A ferramenta possibilitou visualizar os resultados da simulação e ainda exportá-los para análise em outras ferramentas. Uma análise foi

realizada utilizando-se a linguagem R, gerando gráficos para interpretar os resultados. Por exemplo, a Figura 38 exibe um gráfico de caixas para o inóculo potencial, para cada mesorregião e para cada época de semeadura. Com esse gráfico pode-se identificar qual a época de semeadura que é mais suscetível ao desenvolvimento do inóculo da doença.

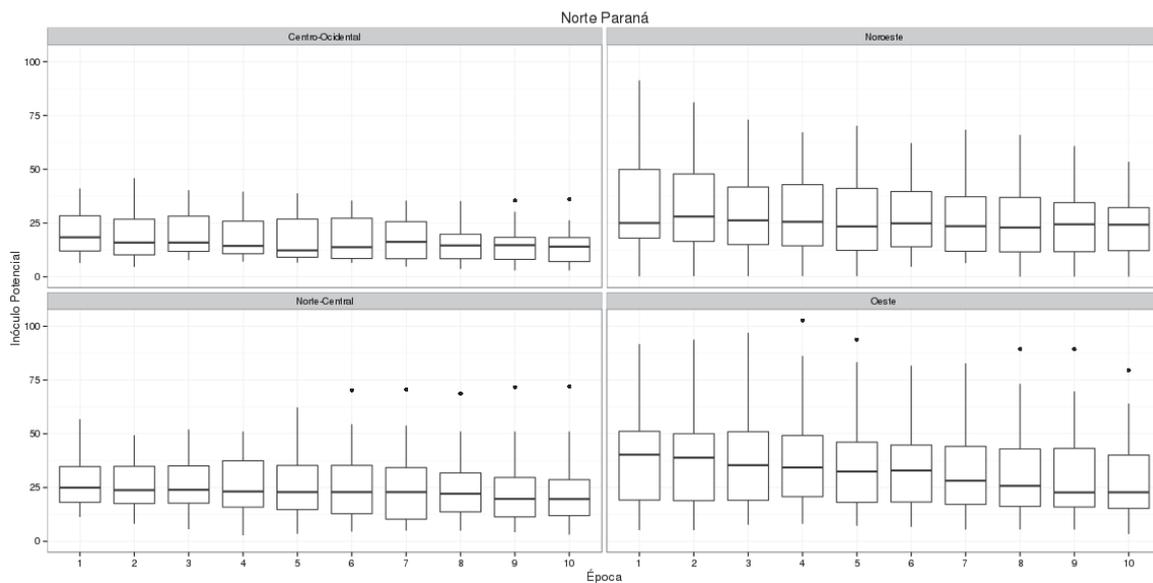


Figura 38. Gráfico do inóculo potencial dos experimentos do Estado do Paraná por época.

Outro gráfico analisado é apresentado na Figura 39 que exibe a quantidade de inóculo potencial agrupado por cada ano do experimento, sendo possível visualizar a variação de inóculo entre os anos do experimento. A incidência da brusone calculada pelos experimentos pode ser visualizada na Figura 40, que constata a variação da incidência ao longo dos anos .

Analisando esses dois gráficos (Figura 39 e Figura 40) juntamente com dados<sup>1</sup> sobre as epidemias de brusone que ocorreram no Paraná, foi possível verificar se o modelo desenvolvido para brusone se aproxima da realidade. Segundo os dados fornecidos, foram realizados estudos sobre os surtos da brusone no Paraná no período de 2000 a 2013, sendo que os surtos variaram de moderados a altamente severos nas safras agrícolas de 2001, 2004, 2008, 2009 e 2012, tendo a maior severidade observada em 2009. Assim, comparando os resultados observados com a saída da simulação, pode-se dizer que o resultado da simulação aproxima-se de certa forma da realidade, validando assim o modelo desenvolvido para brusone no trigo.

<sup>1</sup>Dados pessoais fornecidos pelo Professor PhD. José Mauricio Cunha Fernandes

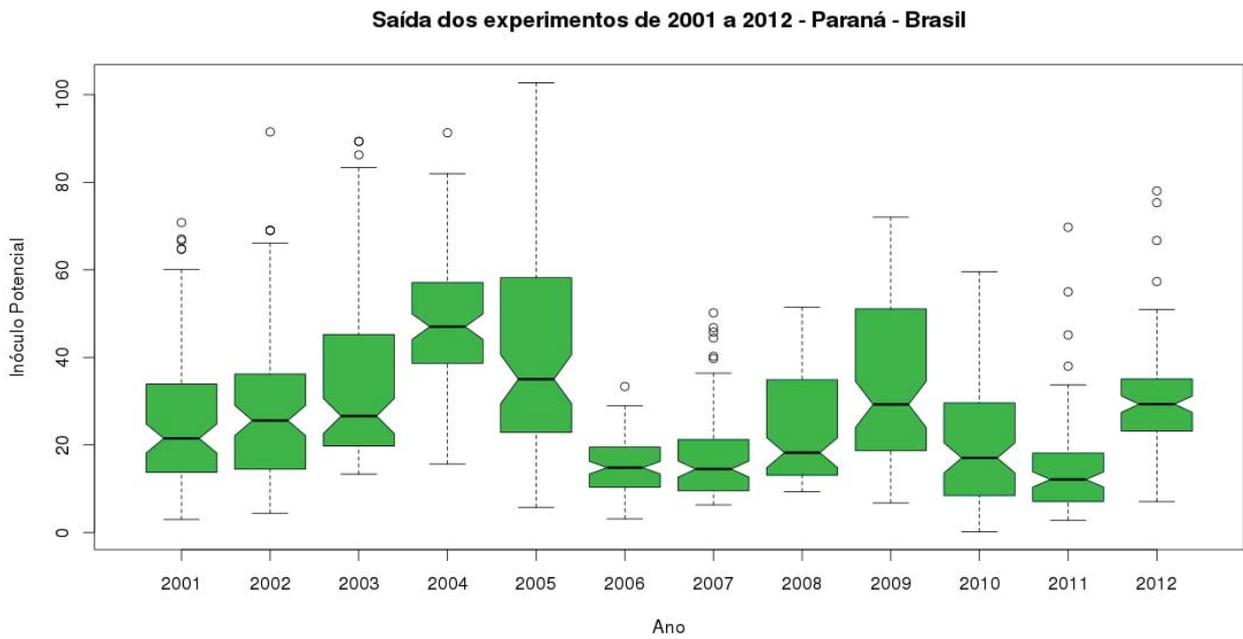


Figura 39. Gráfico do inóculo potencial dos experimentos do Estado do Paraná por ano.

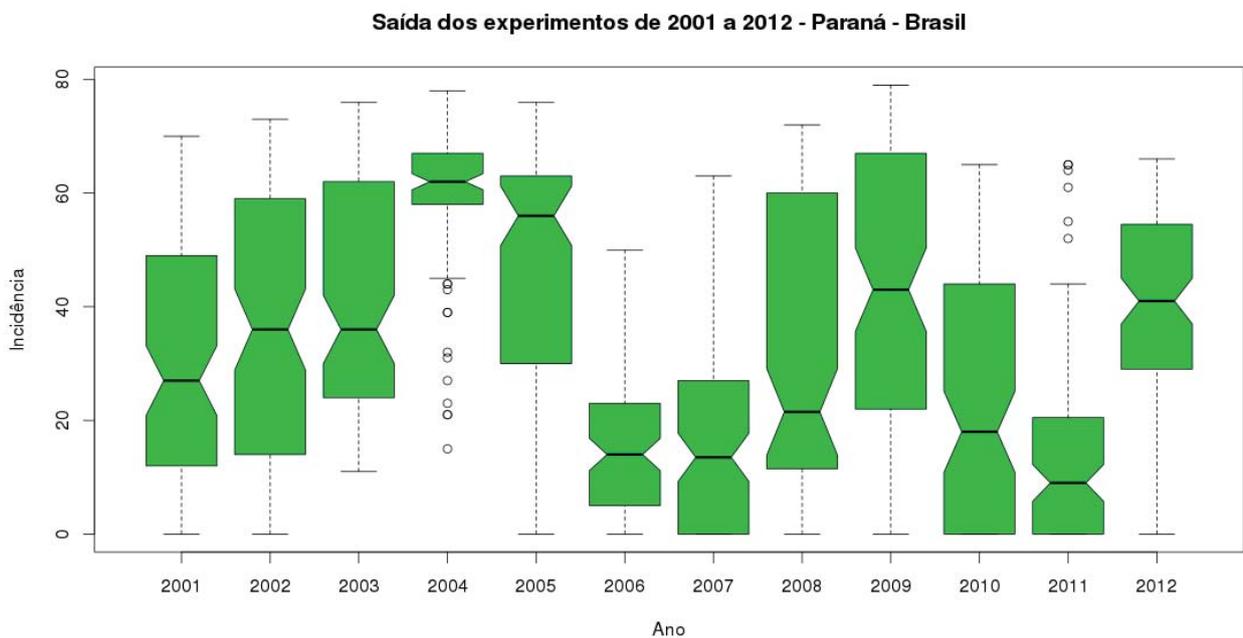


Figura 40. Gráfico da incidência da brusone dos experimentos do Estado do Paraná por ano.

A Figura 41 apresenta a saída da simulação para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos, exibindo um gráfico com o inóculo potencial ao longo dos anos.

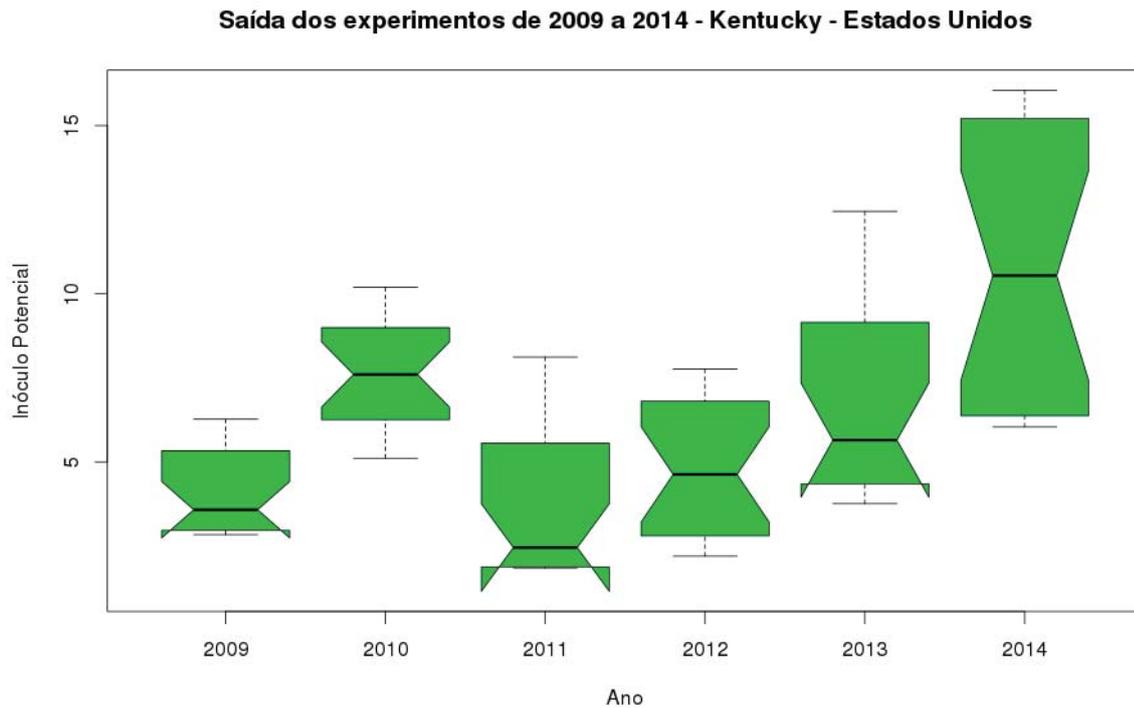


Figura 41. Gráfico do inóculo potencial de todos os experimentos por ano para o Estado do Kentucky.

A ferramenta resultante do trabalho se apresenta como uma solução vantajosa para a execução de modelos de simulação, facilitando a execução das etapas necessárias. Para executar o modelo *CSM-Cropsim:Wheat* por exemplo, precisa-se primeiramente do executável do modelo de simulação, e dos seus arquivos de configuração contendo toda a estrutura necessária para a execução do modelo, o que inclui dados de clima, cultivares, solo, configurações da simulação entre outros. A criação desses arquivos é complexa, já que possui um formato específico, e precisa ser criada para cada tratamento desejado. Outro problema é a obtenção dos resultados, pois eles são armazenados em arquivos no formato texto, obrigando o pesquisador a conhecer a sua estrutura para obter a informação desejada.

O trabalho de Lazzaretti [4] apresentou uma evolução para a execução de simulações, fornecendo a estrutura de banco de dados necessária e possibilitando automatizar a execução. Dessa forma, os experimentos podem ser criados utilizando a linguagem SQL e, por meio dela pode-se chamar funções existentes no banco de dados para executar a simulação e importar e visualizar os resultados da mesma. Tal fato permite que o pesquisador possa criar experimentos e visualizar os resultados, sem precisar conhecer a estrutura necessária para o modelo ser executado, porém não o exime de conhecer o banco de dados e a sua linguagem de manipulação.

O presente trabalho teve como base essa estrutura criada por Lazzaretti [4], e resultou em uma interface gráfica para a criação, execução e visualização de resultados de experimentos, permitindo ao usuário final usá-la sem a necessidade de conhecer alguma linguagem de programação ou manipulação de banco de dados. Essa é a principal evolução apresentada pela presente pesquisa, juntamente com a automação do processo. Para a utilização da ferramenta o pesquisador precisa

somente de um navegador web para acessá-la de qualquer local. Acessando a ferramenta o pesquisador pode criar um experimento, especificando as suas condições e visualizando os resultados. Caso deseje executar o mesmo experimento, mas realizando modificações nas variáveis ou condições para verificar diferenças nos resultados, pode simplesmente criar uma cópia do experimento modificando o que desejar. Tudo isto de forma simples e rápida.

### 3.7 TRABALHOS FUTUROS

Em relação a trabalhos futuros tratando da evolução da ferramenta e do modelo da brusone no trigo, apresentam-se algumas possibilidades. A primeira, em relação ao modelo da brusone do trigo, tem a ver com o tempo de execução do modelo. Pretende-se realizar estudos para otimizar o modelo, na tentativa de diminuir o tempo de execução, que conforme observado, possui um tempo de execução relativamente mais longo, que por exemplo, o do modelo *CSM-Cropsim:Wheat*.

A segunda possibilidade de evolução seria em relação a uma maior integração do modelo *CSM-Cropsim:Wheat* e do modelo da brusone. Atualmente o acoplamento é fraco, pois a única integração é no momento do modelo *CSM-Cropsim:Wheat* que fornece a data de espigamento, e a partir dela é calculado a quantidade de inóculo potencial e a incidência da brusone. Futuramente, pretende-se estudar a possibilidade de considerar no cálculo do rendimento de grãos da cultura gerado pelo *CSM-Cropsim:Wheat* a incidência da brusone.

### 3.8 CONCLUSÃO

A Brusone é uma doença que causa perdas consideráveis no trigo e barra o avanço da cultura no país. Como o trigo possui uma importância econômica relevante, prever epidemias da brusone no trigo ou fornecer informações que auxiliem o entendimento da doença, pode ser útil para a área da agronomia.

Uma das formas de se obter informações sobre culturas é por meio de modelos de simulação, porém a sua utilização pode ser considerada um problema fundamentalmente difícil e propenso a erros, sendo essa uma grande área de aplicação especializada, com um elevado grau de dificuldade.

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta para auxiliar à tomada de decisão para o manejo do risco da brusone do trigo, facilitando a execução e visualização de modelos de simulação de doenças e pragas em culturas, abstraindo a complexidade envolvida em tais processos e fornecendo informação útil. A pesquisa tinha como objetivos específicos o desenvolvimento de uma ferramenta web para utilização de modelos de simulação e a avaliação do risco de epidemias da brusone no Brasil e nos Estados Unidos.

Pode-se concluir que o objetivo principal do trabalho foi atingido, pois foi desenvolvida uma ferramenta que possibilita a utilização de modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas pela web, de forma fácil e rápida. Com ela é possível criar e executar experimentos, visualizar o resultado da simulação, além de possibilitar a exportação do resultado para utilização

em outras ferramentas. Dessa forma, a ferramenta auxilia na geração de informação que pode ser útil na tomada de decisão. Além disso, a arquitetura adotada no desenvolvimento da ferramenta torna possível o acoplamento de novos modelos de simulação, algo importante para a expansão das funcionalidades e reaproveitamento do trabalho realizado.

Em relação aos objetivos específicos, pode-se concluir que também foram atendidos. Como resultado da pesquisa, tem-se uma ferramenta web para a utilização de modelos de simulação. A avaliação do risco de epidemias da brusone no trigo por meio dos experimentos e aplicações criadas resultou em informação para auxiliar no entendimento da doença. A ferramenta executou experimentos planejados para localidades do Estado do Paraná, no Brasil, e para o Estado do Kentucky nos Estados Unidos, fornecendo informações sobre os surtos da doença nesses dois países.

Ainda, a saída da simulação possibilitou visualizar épocas de semeadura que são mais afetadas pela doença, o que é útil para o manejo. Outra informação que se extraiu do resultado da simulação foi a variabilidade da quantidade de inóculo potencial e incidência da brusone ao longo dos anos. Com base nisso foi possível efetuar uma validação do modelo da brusone, verificando-se que o resultado da simulação aproxima-se de dados observados de surtos da brusone. Tal constatação foi obtida ao se observar gráficos resultantes da saída da simulação, onde se notou que anos com maior incidência da doença eram os mesmos que ocorreram na realidade. Assim o modelo de simulação da brusone, juntamente com a ferramenta web para execução de simulações do crescimento e desenvolvimento de culturas, que foram desenvolvidos nesta pesquisa se tornam relevantes para as áreas da computação, simulação e agronomia.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BYRNE, J.; HEAVEY, C.; BYRNE, P. J. A review of web-based simulation and supporting tools. *Simulation modelling practice and theory*, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 253–276, 2010.
- [2] ORACLE. *About the Java Technology*. 2015. Disponível em: <<https://docs.oracle.com/javase/tutorial/getStarted/intro/definition.html>>. Acesso em 28 Agosto 2015.
- [3] DEITEL, H. M.; DEITEL, Paul J. *Java: Como programar. 8ª Edição*. [S.l.]: São Paulo: Prentice Hall, 2010.
- [4] LAZZARETTI, A. T. *Integração de banco de dados e modelos de simulação de culturas para estimar o impacto de mudanças do clima no rendimento de grãos e na severidade da giberela em trigo*. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Engenharia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.
- [5] TAL, F. de. *Um livro que não existe*. 2. ed. Ghost: Fantasma, 1970. 37 p.
- [6] CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. et al. *Introduction to plant disease epidemiology*. [S.l.]: John Wiley & Sons., 1990.
- [7] PAGE, E. H.; OPPER, J. M. Observations on the complexity of composable simulation. In: ACM. *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation—a bridge to the future-Volume 1*. [S.l.], 1999. p. 553–560.
- [8] KULJIS, J.; PAUL, R. J. An appraisal of web-based simulation: whither we wander? *Simulation Practice and Theory*, Elsevier, v. 9, n. 1, p. 37–54, 2001.
- [9] WANG, Y.-H.; LIAO, Y.-C. Implementation of a collaborative web-based simulation modeling environment. In: IEEE. *Distributed Simulation and Real-Time Applications, 2003. Proceedings. Seventh IEEE International Symposium on*. [S.l.], 2003. p. 150–157.
- [10] TAO, Y.-H.; GUO, S.-M. The design of a web-based training system for simulation analysis. In: IEEE. *Simulation Conference, 2001. Proceedings of the Winter*. [S.l.], 2001. v. 1, p. 645–652.
- [11] SON, Y. J.; JONES, A. T.; WYSK, R. A. Component based simulation modeling from neutral component libraries. *Computers & industrial engineering*, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 141–165, 2003.
- [12] CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e Aplicações*. [S.l.]: Afonso C. Medina, 2010.
- [13] TOEBE, J. *Um modelo baseado em agentes para o ciclo de vida de insetos: Aplicação na interação afídeo-planta-vírus*. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Engenharia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

- [14] PAVAN, W. *Técnicas de engenharia de software aplicadas à modelagem e simulação de doenças de plantas*, 2007. 182 p. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Engenharia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.
- [15] ICASA. *Icasa - International Consortium for Agricultural Systems Applications*. 2007. Disponível em: <<http://icasa.net>>. Acesso em: 12 Dez. 2007.
- [16] HUNT, L.; PARARAJASINGHAM, S. Cropsim-wheat: A model describing the growth and development of wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, NRC Research Press Ottawa, Canada, v. 75, n. 3, p. 619–632, 1995.
- [17] FERNANDES, J. M. et al. Modelling fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based models. In: MICHIGAN STATE UNIVERSITY, EAST LANSING, MICHIGAN. *Proc. 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight*. [S.l.], 2004. p. 441–444.
- [18] PONTE, E. M. D.; FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W. A risk infection simulation model for fusarium head blight of wheat. *Fitopatologia Brasileira*, SciELO Brasil, v. 30, n. 6, p. 634–642, 2005.
- [19] ALFONSECA, M.; LARA, J. D.; VANGHELUWE, H. Web ii: web-based simulation of systems described by partial differential equations. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*. [S.l.], 2001. p. 629–636.
- [20] PAGE, E. H. Beyond speedup: Pads, the hla and web-based simulation. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the thirteenth workshop on Parallel and distributed simulation*. [S.l.], 1999. p. 2–9.
- [21] FISHWICK, P. A. Web-based simulation. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. S. Andradóttir, K.J. Healy, D.H. Withers, B.L. Nelson (Eds.), *Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation*. [S.l.], 1997. p. 100–102.
- [22] BENCOMO, S. D. Control learning: present and future. *Annual Reviews in control*, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 115–136, 2004.
- [23] REICHENTHAL, S. W. Web-based simulation 3: re-introducing web-based simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers*. [S.l.], 2002. p. 847–852.
- [24] MILLER, J. A.; SEILA, A. F.; TAO, J. Finding a substrate for federated components on the web. In: SOCIETY FOR COMPUTER SIMULATION INTERNATIONAL. *Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation*. [S.l.], 2000. p. 1849–1854.
- [25] MILLER, J. A. et al. Research and commercial opportunities in web-based simulation. *Simulation Practice and Theory*, Elsevier, v. 9, n. 1, p. 55–72, 2001.

- [26] FISHWICK, P. A. Web-based simulation: some personal observations. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*. [S.l.], 1996. p. 772–779.
- [27] DERICO, M. M. et al. Using intelligent agents to combine heterogeneous distributed data. In: IEEE. *Systems, Man, and Cybernetics, 1998. 1998 IEEE International Conference on*. [S.l.], 1998. v. 3, p. 2831–2835.
- [28] RAO, D. M.; WILSEY, P. A. Dynamic component substitution in web-based simulation. In: IEEE. *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*. [S.l.], 2000. v. 2, p. 1840–1848.
- [29] PAUL, R. J.; TAYLOR, S. What use is model reuse: Is there a crook at the end of the rainbow? In: IEEE. *Simulation Conference, 2002. Proceedings of the Winter*. [S.l.], 2002. v. 1, p. 648–652.
- [30] WIEDEMANN, T. Simulation application service providing (sim-asp). In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*. [S.l.], 2001. p. 623–628.
- [31] VEITH, T. L.; KOBZA, J. E.; KOELLING, C. P. Netsim: Java™-based simulation for the world wide web. *Computers & operations research*, Elsevier, v. 26, n. 6, p. 607–621, 1999.
- [32] SUH, W. Web application development methodologies. In: IGI GLOBAL. *Web engineering: principles and techniques*. [S.l.], 2005. p. 76–93.
- [33] SAVORY, P. A web-based interface for storing and executing simulation models. *Industrial and Management Systems Engineering Faculty Publications*, p. 1810–1814, 2000.
- [34] GRAUPNER, T.-D.; RICHTER, H.; SIHN, W. Web-based simulation 2: configuration, simulation and animation of manufacturing systems via the internet. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers*. [S.l.], 2002. p. 825–831.
- [35] WHITMAN, L.; HUFF, B.; PALANISWAMY, S. Commercial simulation over the web. In: IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS. *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*. [S.l.], 1998. p. 335–340.
- [36] CUBERT, R. M.; FISHWICK, P. A. A framework for distributed object-oriented multimodeling and simulation. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*. [S.l.], 1997. p. 1315–1322.
- [37] NARAYANAN, S. Web-based modeling and simulation. In: IEEE. *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*. [S.l.], 2000. v. 1, p. 60–62.
- [38] LORENZ, P. et al. Towards a web based simulation environment. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*. [S.l.], 1997. p. 1338–1344.
- [39] MYERS, D. S. An extensible component-based architecture for web-based simulation using standards-based web browsers. 2004.

- [40] DAVIS, W. J.; CHEN, X.; BROOK, A. Implementing on-line simulation upon the world-wide web. In: IEEE. *Simulation Conference Proceedings, 1998. Winter*. [S.l.], 1998. v. 1, p. 87–95.
- [41] YURCIK, W.; VILA, J.; BRUMBAUGH, L. An interactive web-based simulation of a general computer architecture. In: *IEEE Intl. Conf. on Engineering & Comp. Education (ICECE)*. [S.l.: s.n.], 2000.
- [42] HOLZINGER, A. et al. Design, development and evaluation of online interactive simulation software for learning human genetics. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, Springer, v. 125, n. 5, p. 190–196, 2008.
- [43] MILLER, J. A.; SEILA, A. F.; XIANG, X. The jsim web-based simulation environment. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 119–133, 2000.
- [44] PAGE, E. H. The rise of web-based simulation: implications for the high level architecture. In: IEEE. *Simulation Conference Proceedings, 1998. Winter*. [S.l.], 1998. v. 2, p. 1663–1668.
- [45] PIDD, M.; OSES, N.; BROOKS, R. J. Component-based simulation on the web? In: ACM. *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation—a bridge to the future—Volume 2*. [S.l.], 1999. p. 1438–1444.
- [46] BROGI, A.; CANAL, C.; PIMENTEL, E. On the semantics of software adaptation. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 61, n. 2, p. 136–151, 2006.
- [47] LAU, K.-K. *Component-Based Software Development: Case Studies (Series on Component-Based Software Development)*. [S.l.]: World Scientific Press, 2004.
- [48] BERTOIA, M. F.; TROYA, J. M.; VALLECILLO, A. Measuring the usability of software components. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 79, n. 3, p. 427–439, 2006.
- [49] FUKUNARI, M.; CHI, Y.-L.; WOLFE, P. M. Javabean-based simulation with operational procedure table (opt). *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 17, n. 5, p. 513–523, 2001.
- [50] PAGE, E. H.; GRIFFIN, S. P.; ROTHER, S. L. Providing conceptual framework support for distributed web-based simulation within the high-level architecture. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Aerospace/Defense Sensing and Controls*. [S.l.], 1998. p. 287–292.
- [51] SOLIMAN, H. M.; ELMAGHRABY, A. S.; EL-SHARKAWY, M. Parallel and distributed simulation: an overview. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.], 1995. p. 270–270.
- [52] BILES, W. E.; CASEBIER, J. B. Web based evaluation of material handling alternatives for automated manufacturing: a parallel replications approach. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 36th conference on Winter simulation*. [S.l.], 2004. p. 1527–1532.

- [53] BILES, W. E.; KLEIJNEN, J. P. International collaborations in web-based simulation: a focus on experimental design and optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*. [S.l.], 2005. p. 218–222.
- [54] GAN, B. P. et al. Manufacturing supply chain management: distributed supply chain simulation across enterprise boundaries. In: SOCIETY FOR COMPUTER SIMULATION INTERNATIONAL. *Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation*. [S.l.], 2000. p. 1245–1251.
- [55] PAGE, E. H. et al. Web-based simulation: revolution or evolution? *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, ACM, v. 10, n. 1, p. 3–17, 2000.
- [56] KELIN, U.; SCHULZE, T.; STRASSBURGER, S. Traffic simulation based on the high level architecture. In: IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS. *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*. [S.l.], 1998. p. 1095–1104.
- [57] MORSE, K. L.; PETTY, M. D. High level architecture data distribution management migration from dod 1.3 to ieee 1516. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Wiley Online Library, v. 16, n. 15, p. 1527–1543, 2004.
- [58] ELKINS, A.; WILSON, J. W.; GRACANIN, D. Security issues in high level architecture based distributed simulation. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*. [S.l.], 2001. p. 818–826.
- [59] FOX, G.; PIERCE, M. Grids challenged by a web 2.0 and multicore sandwich. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Wiley Online Library, v. 21, n. 3, p. 265–280, 2009.
- [60] MUSTAFEE, N.; TAYLOR, S. J. Supporting simulation in industry through the application of grid computing. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation*. [S.l.], 2008. p. 1077–1085.
- [61] PHATANAPHEROM, S.; UTHAYOPAS, P.; KACHITVICHYANUKUL, V. Dynamic scheduling ii: fast simulation model for grid scheduling using hypersim. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation*. [S.l.], 2003. p. 1494–1500.
- [62] FOSTER, I.; KESSELMAN, C. *The Grid 2: Blueprint for a new computing infrastructure*. [S.l.]: Elsevier, 2003.
- [63] XI, H. et al. Supply chain simulation: distributed supply chain simulation using a generic job running framework. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation*. [S.l.], 2003. p. 1305–1312.
- [64] GOSLING, J.; MCGILTON, H. The java language environment. *Sun Microsystems Computer Company*, v. 2550, 1995.

- [65] GONCALVES, A. *Introdução à Plataforma Java EE 6 com GlassFish 3*. [S.l.]: Editora Ciência Moderna, 2011. v. 2.
- [66] ORACLE. *Enterprise JavaBeans Technology*. 2015. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/ejb/index.html>>. Acesso em 28 Agosto 2015.
- [67] BISWAS, R.; ORT, E. The java persistence api-a simpler programming model for entity persistence. *Sun, May*, 2006.
- [68] DOOLEY, J. *Software development and professional practice*. [S.l.]: Springer, 2011.
- [69] LUCKOW, D. H.; MELO, A. A. de. *Programação Java para a WEB*. [S.l.]: Novatec Editora, 2010.
- [70] ORACLE. *JavaServer Faces Technology*. 2015. Disponível em: <<http://docs.oracle.com/javaee/5/tutorial/doc/bnaph.html>>. Acesso em 28 Agosto 2015.
- [71] GEARY, D.; HORSTMANN, C. *Core JavaServer Faces*. [S.l.]: Altabooks, 2012.
- [72] PRIMEFACES. *Primefaces*. 2014. Disponível em: <http://www.primefaces.org>. Acesso em 11 Julho 2014.
- [73] POSTGRES. *POSTGRES*. 1999. Disponível em: <http://db.cs.berkeley.edu/postgres.html>. Acesso em 11 Julho 2014.
- [74] POSTGRESQL. *PostgreSQL*. 2014. Disponível em: <http://www.postgresql.org/docs/9.3/static/intro-what-is.html>. Acesso em 11 Julho 2014.
- [75] CUNHA, G. da. Oficina sobre trigo no brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira. *Embrapa Trigo-Livros científicos (ALICE)*, Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009., 2010.
- [76] BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. Origem e evolução de plantas cultivadas. *Área de Informação da Sede-Livros científicos (ALICE)*, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008., 2008.
- [77] FEDERIZZI, L. C. et al. Melhoramento do trigo. In: BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de Espécies Cultivadas*. 2º. ed. [S.l.]: Editora UFV.
- [78] FERNANDES, M. d. M.; OSÓRIO, E. Citogenética. *Trigo no Brasil*, Fundação Cargill Campinas, v. 50, 1982.
- [79] MARCHIORO, V.; FRANCO, F. Informações técnicas para trigo e triticales-safra 2011. *Cascavel PR. COODETEC, Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales.[Links]*, 2010.
- [80] ABITRIGO. *ABITRIGO*. 2015. Acesso em 15 Agosto 2015. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/index.php?mpg=02.00.00>>.

- [81] BATTISTI, G. K. et al. *FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA INTERAÇÃO GÊNOTIPO COM SISTEMA DE SUCESSÃO NO TRIGO ALTERAÇÕES NO RENDIMENTO DE GRÃOS*. 2010. Disponível em: <[http://www2.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA\\_00538.pdf](http://www2.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA_00538.pdf)>. Acesso em 18 Agosto 2015.
- [82] PIANA, C. F. B.; CARVALHO, F. I. F. Trigo. In: BARBIERI, R. L.; STUMPI, E. R. T. (Ed.). *Origem e evolução de plantas cultivadas*. 1º. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 821–851.
- [83] BACALTCHUK, B.; SILVA, H. d. *Nasce uma nova era... O trigo recupera sua nobreza*. [S.l.]: Embrapa Trigo, 2001.
- [84] CURTIS, B. C. Wheat in the world. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MACPHERSON, H. G. (Ed.). *Bread wheat: improvement and production*. 1º. ed. Rome: FAO, 2002. p. 1–17.
- [85] SOUZA, C. d.; ROSA, O. d. S. Multiplicar o grão. In: *Multiplicar o grão*. Rio de Janeiro: Ciência Hoje, 1985. p. 46–52.
- [86] BRUM, A. L.; MÜLLER, P. K. A realidade da cadeia do trigo no brasil: o elo produtores/cooperativas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, SciELO Brasil, v. 46, n. 1, p. 145–169, 2008.
- [87] MUNDSTOCK, C. M. *Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo*. [S.l.]: ed. do Autor, 1999.
- [88] IGARASHI, S. et al. Pyricularia em trigo. 1. ocorrência de pyricularia sp. no estado do paraná. *Fitopatologia Brasileira*, v. 11, p. 351–352, 1986.
- [89] IGARASHI, S. *Análise da ocorrência de 'Brusone' do trigo no Paraná*. [S.l.]: IAPAR, 1988.
- [90] MEHTA, Y. Manejo integrado de enfermidades del trigo. Santa Cruz (Bolívia), CIAT, 1993.
- [91] GOULART, A.; PAIVA, F. d. A. Incidência da brusone (pyricularia oryzae) em diferentes cultivares de trigo (triticum aestivum) em condições de campo. *Fitopatologia Brasileira*, v. 17, n. 3, 1992.
- [92] TROTTENBERG, U.; POUTRÉ, H. L. Introduction to the special theme : Simulation & modelling for research and industry. *ERCIM News*, v. 2010, n. 81, 2010.
- [93] BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; PICKERING, N. B. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, American Society of Agronomy, v. 88, n. 5, p. 704–716, 1996.
- [94] CALVERO, S.; TENG, P. Use of simulation models to optimize fungicide use for managing tropical rice blast disease. In: *Applications of Systems Approaches at the Field Level*. [S.l.]: Springer, 1997. p. 305–320.

- [95] HAYMAN, P.; EASDOWN, W. An ecology of a dss: reflections on managing wheat crops in the northeastern australian grains region with wheatman. *Agricultural Systems*, Elsevier, v. 74, n. 1, p. 57–77, 2002.
- [96] BANNAYAN, M.; CROUT, N.; HOOGENBOOM, G. Application of the ceres-wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the united kingdom. *Agronomy Journal*, American Society of Agronomy, v. 95, n. 1, p. 114–125, 2003.
- [97] TATIZANA, S. Um modelo conceitual de simulacao da producao de gado de corte. 1995.
- [98] SILVA, F. C. da; BERGAMASCO, A. F.; VENDITE, L. L. Modelos de simulação para análise e apoio à decisão em agrossistemas. 2004.
- [99] SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software. 9ª Edição*. [S.l.]: São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.
- [100] ARAI, N.; YOSHINO, R. Studies on the sporulation of rice blast fungus. 1. relation between sporulation and temperature. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*, v. 53, p. 371–372, 1987.
- [101] KIM, K. *Weather-Driven models for rice leaf blast and their implementation to fore cast disease development on the near real-time basis*. Tese (Doutorado) — Doctoral Thesis). Seoul. 2001.[Links], 2000.
- [102] CHARNOCK, T. W.; ELGY, J.; HEDGES, P. Application of gis linked environment models over a large area. In: *3rd international conference on integrating GIS and environmental modeling CD-ROM, NCGIA, UC Santa Barbara*. [S.l.: s.n.], 1996.
- [103] ABEL, D. J.; KILBY, P.; DAVIS, J. R. The systems integration problem. *International Journal of Geographical Information Systems*, Taylor & Francis, v. 8, n. 1, p. 1–12, 1994.
- [104] BRANDMEYER, J. E.; KARIMI, H. A. Coupling methodologies for environmental models. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 15, n. 5, p. 479–488, 2000.