

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA  
VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**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**

**ALEXANDRE TAGLIARI LAZZARETTI**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de concentração Fitopatologia.

Passo Fundo, maio de 2013.

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA  
VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**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**

**ALEXANDRE TAGLIARI LAZZARETTI**

**Orientador: Prof. PhD. José Maurício Cunha Fernandes  
Co-Orientador: Prof. Dr. Willingthon Pavan**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de concentração Fitopatologia.

Passo Fundo, maio de 2013.

## ATA DE APROVAÇÃO DA BANCA



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOPATOLOGIA



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a tese

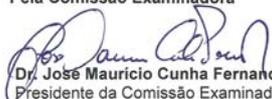
“Interação de banco de dados e modelos de simulação de culturas para estimar o impacto de mudanças do clima no rendimento de grãos e na severidade da giberela no trigo”

Elaborada por

ALEXANDRE TAGLIARI LAZZARETTI

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
“Doutor em Agronomia – Área de Fitopatologia”

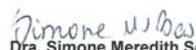
Aprovada em: 10/05/2013  
Pela Comissão Examinadora

  
Dr. José Maurício Cunha Fernandes  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientador

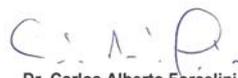
  
Dr. Willington Pavan  
ICEG/UPF  
Coorientador

  
Dr. Gilberto Rocca da Cunha  
Embrapa Trigo

  
Dr. Genei Antonio Dalmago  
Embrapa Trigo

  
Dra. Simone Meredith Scheffer Basso  
Coordenadora PPGAgro

  
Dr. Hélio Carlos Rocha  
Diretor FAMV

  
Dr. Carlos Alberto Forcelini  
FAMV/UPF

## FICHA CATALOGRÁFICA

CIP – Catalogação na Publicação

---

L432i Lazzaretti, Alexandre Tagliari

Integração de banco de dados e modelos de simulação de culturas para estimular o impacto de mudanças do clima no rendimento de grãos e na severidade da giberela em trigo / Alexandre Tagliari Lazzaretti. – 2013.

174 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. PhD. José Maurício Cunha Fernandes.

Coorientador: Prof. Dr. Willingthon Pavan.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2013.

1. Gibberella zeae. 2. Meteorologia agrícola – Rio Grande do Sul. 3. Trigo – Rio Grande do Sul. I. Fernandes, J. M. (José Maurício), orientador. II. Pavan, Willingthon, coorientador. III. Título.

CDU: 633.11

---

Catalogação: Bibliotecária Marciéli de Oliveira - CRB 10/2113

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de louvar a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, da qual sou devoto, pela ajuda espiritual, por minha saúde e por servirem de fonte de força nos momentos difíceis.

Gostaria de agradecer a minha família que é o alicerce de todas as conquistas em minha vida. Agradecer a minha esposa Tatiana pela ajuda e compreensão em todos os momentos. Agradecer a minha filha Vallentina, que é a flor do meu jardim, ao meu filho Frederico, que é a fonte de alegria, pela ajuda com as cores e por estarem participando de minha vida. Amo vocês! Também agradeço a minha "tata" Nica, segunda mãe minha e de meus filhos. Muito obrigado!

Agradeço aos meus pais, Alcides e Nahyr muito importantes em minha vida. Agradeço a minha irmã Silvana e sua família. Agradeço aos familiares de minha esposa (Airtó, Sirlei, Maurício, Milena, Vó Leonor, Tio Carlinhos, Tia Ana e Ernesto), pela força e por entenderem a minha ausência em determinados momentos. Muito Obrigado!

Agradeço ao professor e amigo José Maurício Fernandes, o craque do time, pelo tempo dedicado, ensinamentos na orientação e por acreditar neste trabalho. Também agradeço a todos os professores do PpgAgro, principalmente o prof. Wilson Klein, exemplo de pessoa e profissional. Muito Obrigado!

Agradeço ao amigo e co-orientador Willingthon Pavan. Pessoa que me inspirou neste desafio e me deu o suporte para a realização do trabalho. Muito obrigado!

Agradeço aos meus colegas do PpgAgro, aos meus colegas do IFSul, aos meus ex-colegas professores da UPF, aos meus

amigos, aos amigos da DTI (Foresti, Gilberto e Cristófer) pela ajuda técnica e humana nesta caminhada. Muito obrigado!

Gostaria de agradecer agradecer aos pesquisadores de Embrapa Trigo de Passo Fundo-RS por sua ajuda. Agradecer ao amigo Wilson Holler e seus colegas, da Embrapa Monitoramento por satélite de Campinas-SP, pelo acolhimento e ensinamentos no período que estive lá. Muito obrigado!

Agradeço ao Instituto Federal Sul-Riogrândense pelo apoio financeiro e pela concessão do afastamento no final de meu trabalho, fator importante para a sua conclusão. Muito obrigado!

Por fim, não poderia me esquecer de uma companheira e um companheiro diários, marcantes no tempo de escrita da tese. A máquina de lavar roupa e o aspirador de pó de minha casa ...

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	10
2.1 Trigo .....	10
2.2 Giberela .....	13
2.3 Modelos de simulação .....	16
2.4 Banco de dados.....	24
2.5 Mudanças do clima global.....	30
CAPÍTULO I - INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS	
Resumo .....	34
Abstract .....	36
1 Introdução.....	37
2 Material e Métodos.....	40
3 Resultados .....	48
4 Discussão.....	68
5 Conclusões.....	77
CAPÍTULO II - CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CROPSIM-WHEAT PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO NA REGIÃO SUL DO BRASIL	
Resumo .....	78
Abstract .....	80

1 Introdução.....	81
2 Material e Métodos.....	83
3 Resultados .....	98
4 Discussão.....	113
5 Conclusões.....	120

CAPÍTULO III - POTENCIAL IMPACTO DE MUDANÇA DO CLIMA NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA SEVERIDADE DA GIBERELA EM TRIGO NO PARANÁ

Resumo .....	122
Abstract .....	124
1 Introdução.....	125
2 Material e Métodos.....	128
3 Resultados .....	138
4 Discussão.....	149
5 Conclusões.....	153

CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	157
APÊNDICES .....	169

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I - INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS

- Tabela 1 - Tabelas necessárias para a montagem e execução dos experimentos, e as suas respectivas funcionalidades. .... 58
- Tabela 2 - Funções de integração, funcionalidades, linguagem implementada e a ordem de execução no AgroDB. .... 65
- Tabela 3 - Funções de integração e tempos de execução rodados para o experimento do estudo de caso na localidade de Cascavel. .... 75

### CAPÍTULO II - CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CROPSIM-WHEAT PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

- Tabela 1 - Cultivares de trigo, e respectivos tratamentos, usados nas subparcelas nos experimentos de campo (observados) nos anos de 2010 e 2011. .... 84
- Tabela 2 - Informações sobre os experimentos realizados no campo, contendo as datas de semeadura, datas e valores de adubação, espaçamento entre linhas e número de plantas por m<sup>2</sup>, para os respectivos anos de 2010 e 2011. .... 85
- Tabela 3 - Coeficientes genéticos de cultivares de trigo usados pelo modelo *Cropsim-Wheat* (padrão DSSAT) e os valores calibrados, em relação à fenologia da planta e ao rendimento de grãos, para as cultivares de trigo testadas. .... 95
- Tabela 4 - Variáveis fenológicas usadas pelo modelo *Cropsim-Wheat* e a sua interferência em relação aos estádios fenológicos da planta na ocorrência de alteração dos valores de seus coeficientes. .... 98
- Tabela 5 - Tabela comparativa entre as cultivares de trigo e seus respectivos valores de coeficientes de erro. .... 107
- Tabela 6 - Tabela que mostra os estádios fenológicos gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat* e seus respectivos valores de área foliar e déficit de nitrogênio. .... 118

### CAPÍTULO III - POTENCIAL IMPACTO DE MUDANÇA DO CLIMA NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA SEVERIDADE DA GIBERELA EM TRIGO NO PARANÁ

Tabela 1 - Locais usados nas simulações de mudanças climáticas globais com as suas coordenadas de localização (Latitude, Longitude e Altitude). .....	129
Tabela 2 - Variáveis de solo usadas nas simulações das mudanças climáticas globais, fornecidas pelo IAPAR, correspondentes às camadas: 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100, 120 cm.....	130
Tabela 3 - Condições iniciais do solo, usadas nos experimentos, por camada (icbl), especificando a quantidade de água (sh2o), amônio (snh4) e nitrato (sno3). .....	132
Tabela 4 - Temperatura média do ar nas décadas para as localidades simuladas e precipitação pluvial acumulada nas décadas para as localidades simuladas, caracterizando os dados meteorológicos usados nos experimentos simulados.....	133
Tabela 5 - Concentrações de CO <sub>2</sub> (ppm) na atmosfera, correspondendo aos anos de 2070 a 2099, usadas nos experimentos de prognósticos de clima. ....	133
Tabela 6 - Mesorregiões do estado do Paraná, definidas pelo IBGE, e as respectivas localidades. As mesorregiões foram usadas nos resultados e discussões do trabalho. ....	138
Tabela 7 - Valores médios de rendimentos de grãos de trigo normalizados, para os 27 locais simulados no estado do Paraná, nas respectivas décadas. ....	139
Tabela 8 - Dados comparativos entre simulações, uma considerando a data de 01/07/1999 e outra de 01/07/2089, mostrando o número de dias após a semeadura (DAP), dos estádios fenológicos da cultura do trigo. ....	144
Tabela 9 - Médias normalizadas de severidade de giberela na cultura do trigo, por local, nas respectivas décadas.....	145

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1 - Escala de Zadocks (1974), mostrando os estádios fenológicos do desenvolvimento da cultura do trigo..... 12
- Figura 2 - Espiga do trigo com espiguetas de cor esbranquiçada e grãos chochos, caracterizando sintomas da doença giberela..... 15
- Figura 3 - Estrutura do modelo DSSAT, mostrando os principais componentes (Bases de Dados, Modelos e Aplicações) e suas relações..... 19
- Figura 4 - Arquitetura dos servidores (SGDC, SBD, SMPD, SW e MSC) do modelo de simulação de pragas (MSP) e seus relacionamentos nas camadas..... 23
- Figura 5 - Arquitetura básica de um SGBD demonstrando os níveis: externo, conceitual e interno de um sistema de gerência de banco de dados..... 26
- Figura 6 - Etapas necessárias para a implementação do projeto *Top-Down* de banco de dados. descritas em ordem de abstração. .... 29
- Figura 7 - Estimativas de aumento da temperatura do ar e elevação do nível do mar associados aos cenários de mudanças climáticas descritos pelo IPCC em 2000. .... 33

### CAPÍTULO I - INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS

- Figura 1 - Arquitetura do AgroDB. Ao centro têm-se o banco de dados que recebe e fornece arquivos de dados, tanto dos simuladores, quanto de organizações. São usadas tecnologias para possibilitar a tomada de decisão..... 41
- Figura 2 - Exemplo do uso da abordagem de modelagem "vertical" para a criação de tabelas do AgroDB. São mostradas as tabelas: *weather\_data\_variable* e *variable* e a ligação de referência entre elas..... 43

Figura 3 - Código SQL de criação do tipo de dados abstrato "tp_data" e o seu uso no campo data_value na criação da tabela "weather_data_variable".....	43
Figura 4 - Diagrama de classes submódulo <i>basics-control</i> , indicando as classes responsáveis pelo controle do sistema. ....	49
Figura 5 - Diagrama de classes submódulo <i>basics-data</i> , indicando as classes responsáveis pelos dados básicos de identificação para o funcionamento do sistema. ....	49
Figura 6 - Diagrama de classes submódulo <i>basics-localization</i> , indicando as classes responsáveis pelas informações das localizações territoriais.....	50
Figura 7 - Diagrama de classes submódulo <i>basics-station</i> , indicando as classes responsáveis pelos locais de fonte de dados (estações). ....	50
Figura 8 - Diagrama de classes módulo <i>crops</i> , indicando as classes responsáveis pelas culturas, cultivares, ecotipos agrícolas e dados associados e pelos modelos de simulação. ....	51
Figura 9 - Diagrama de classes módulo <i>integration</i> , indicando as classes responsáveis pela integração (formatos de importação e exportação) dos dados de entrada e de saída do banco de dados. ....	52
Figura 10 - Diagrama de classes módulo <i>simulation-models</i> , indicando as classes responsáveis pelos dados associados aos modelos de simulação.....	52
Figura 11 - Diagrama de classes módulo <i>soil</i> , indicando as classes responsáveis pelo armazenamento dos dados associados às características do solo.....	53
Figura 12 - Diagrama de classes módulo <i>weather</i> , indicando as classes responsáveis pelos dados de meteorológicos, observados e de prognósticos.....	53
Figura 13 - Diagrama de classes submódulo <i>experiments-prepare</i> , que contém os dados necessários para a montagem dos experimentos que foi executado e aos experimentos futuros.....	54

Figura 14 - Diagrama de classes submódulo <i>experiments-execution</i> , que contém os dados correspondentes à execução do experimento e de experimentos futuros.....	55
Figura 15 - Diagrama de classes submódulo <i>experiments-controls</i> , que mantém os dados resultantes das execuções dos modelos de simulação agrícolas. ....	56
Figura 16 - Exemplo de cadastramento de um experimento na tabela <i>experiment</i> no banco de dados AgroDB.....	60
Figura 17 - Exemplo de cadastramento da cultivar e a sua associação ao respectivo experimento, tabela <i>experiment_cultivar</i> , no AgroDB. ....	61
Figura 18 - Exemplo de cadastramento das datas de semeadura, para o respectivo experimento, na tabela <i>experiment_date</i> do AgroDB. ....	61
Figura 19 - Exemplo de cadastramento da localidade, os dados de solo e os dados meteorológicos, para o respectivo experimento, na tabela <i>experiment_station</i> .....	62
Figura 20 - Exemplo de cadastramento dos anos em que o experimento será executado na tabela <i>experiment_year</i> . ....	62
Figura 21 - Exemplo de cadastramento dos resultados desejados, a partir dos arquivos gerados pelo simulador, cadastrados na tabela <i>experiment_input</i> . ....	63
Figura 22 - Exemplo de cadastramento dos parâmetros de controle do modelo de simulação para o respectivo experimento, na tabela <i>experiment_control</i> .....	64
Figura 23 - Exemplo de cadastramento das condições iniciais do solo, para o experimento, na tabela <i>experiment_condition</i> .....	64
Figura 24 - Exemplo de cadastramentos dos fertilizantes, base e cobertura, na tabela <i>experiment_fertilizer</i> . ....	64
Figura 25 - Gráfico comparativo dos rendimentos de grãos dos valores simulados e observados para os anos de 1990 a 2009, cultivar de trigo BR-23, para a localidade de Cascavel. ....	68
Figura 26 - Propriedades tabela <i>weather_data_variable</i> , demonstrando a quantidade de registros armazenados. ....	69

- Figura 27 - Exemplo de função espacial do PostGis que busca a localização mais próxima de uma coordenada geográfica (longitude e latitude) passadas como parâmetros..... 72
- Figura 28 - Resultado da consulta espacial mostrando qual localidade possui a distância mais próxima das coordenadas (latitude e longitude) desejadas passadas por parâmetros. .... 72
- Figura 29 - Estrutura de diretórios criada pelas funções de integração usada para execução do simulador. .... 73

## CAPÍTULO II - CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CROPSIM-WHEAT PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

- Figura 1 - Exemplo do arquivo OVERVIEW.OUT, que contém os resultados simulados dos estádios fenológicos e o rendimento de grãos (em negrito) gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat*..... 89
- Figura 2 - Exemplo do arquivo .WHT, que contém os dados sobre as variáveis meteorológicas, usado como entrada para a execução do modelo *Cropsim-Wheat*..... 91
- Figura 3 - Configurações dos arquivos, formato *Cropsim-Wheat*, de solo (.SOL) usadas nos experimentos simulados nos anos de 2010 e 2011. .... 92
- Figura 4 - Configurações usadas nos experimentos simulados, para os anos de 2010 e 2011, sobre a adubação de base e cobertura (\*FERTILIZERS...) e sobre a adubação orgânica (\* RESIDUES ...). .... 93
- Figura 5 - Configurações dos ecotipos, formato DSSAT, utilizadas para a calibração das cultivares. A configuração (a) foi usada em todas as cultivares de trigo testadas, exceto a cultivar de trigo Guamirim, na qual foi usada a configuração (b). .... 94
- Figura 6 - Configurações das condições iniciais do solo (água - SH2O, amônio - SNH4 e nitrato - SNO3), especificadas no formato do arquivo .WHX do *Cropsim-Wheat*, para os anos de 2010, configuração (a), e 2011 configuração (b). .... 96
- Figura 7 - Variáveis de controle das simulações (controle do déficit de água - WATER, controle do déficit de nitrogênio - NITRO,

- controle da ocorrência de pragas e doenças - DISES) usadas pelo modelo *Cropsim-Wheat*, para os anos de 2010 e 2011. .... 97
- Figura 8 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 177 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 100
- Figura 9 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 194 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 101
- Figura 10 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 276 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 102
- Figura 11 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS Louro e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE). .... 103
- Figura 12 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Guabijú e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 104
- Figura 13 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Guamirim e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 105
- Figura 14 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Timbaúva e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 106

- Figura 15 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 296 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE)..... 107
- Figura 16 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 177..... 108
- Figura 17 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 194..... 109
- Figura 18 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 276..... 110
- Figura 19 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS Louro..... 110
- Figura 20 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Guabijú. .... 111
- Figura 21 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Guamirim..... 112
- Figura 22 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Timbaúva. .... 113
- Figura 23 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 296..... 113
- Figura 24 - Gráfico que representa as condições meteorológicas (radiação solar global , temperaturas do ar – máximas e mínimas – e precipitação pluvial) dos anos de 2010 e 2011, usadas nos experimentos simulados. .... 117
- Figura 25 - Resultados da simulação realizada com o modelo *Cropsim-Wheat*, para os anos 2010 e 2011, sendo que a variável de controle do nitrogênio indica que não houve déficit. .... 119

CAPÍTULO III - POTENCIAL IMPACTO DE MUDANÇA DO CLIMA NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA SEVERIDADE DA GIBERELA EM TRIGO NO PARANÁ

- Figura 1 - Mapas hipsométricos da média dos valores normalizados de rendimento de grãos de trigo, simulados pelo modelo *Cropsim-Wheat* para o estado do Paraná, nas décadas: (a) 1980 a 1989; (b) 2070 a 2079; (c) 1990 a 1999; (d) 2080 a 2089; (e) 2000 a 2009; (f) 2090 a 2099. .... 141
- Figura 2 - Valores médios normalizados de rendimentos de grãos de trigo, mostrando a variação anual para as décadas: 1980-1998, 1990-1999, 2000-2009 (*baselines*) e 2070-2079, 2080-2089, 2090-2099 (GCMs). .... 143
- Figura 3 - Mapas hipsométricos dos valores médios normalizados de severidade da giberela no trigo, simulados pelo modelo GIBSIM para o estado do Paraná. São representadas as décadas: 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 (*baselines*) e 2070-2079, 2080-2089, 2090-2099 (GCMs). .... 146
- Figura 4 - Resultados do impacto da severidade média normalizada da giberela no trigo, divididos por ano nas décadas, tanto para as décadas dos *baselines* (1980-1989, 1990-1999, 2000-2009), como para as décadas dos GCMs (2070-2079, 2080-2089, 2090-2099). .... 148

**INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS E MODELOS DE  
SIMULAÇÃO DE CULTURAS PARA ESTIMAR O IMPACTO  
DE MUDANÇA DO CLIMA NO RENDIMENTO DE GRÃOS E  
NA SEVERIDADE DA GIBERELA EM TRIGO**

**RESUMO** - Este trabalho teve como objetivo utilizar tecnologias de banco de dados integradas com modelos de simulação de culturas agrícolas e modelos epidemiológicos, para estimar o impacto de mudanças do clima global no rendimento de grãos e na severidade da giberela na cultura do trigo. Para isso, foi criado e implementado um projeto de banco de dados genérico denominado AgroDB, que tem as características e fornece suporte necessário para a integração com modelos de simulação. Foi realizada a avaliação e calibração do modelo *Cropsim-Wheat*, em relação ao rendimento de grãos e os estádios fenológicos do trigo. Para tal, utilizou-se dois experimentos convencionais no campo, executados nos anos 2010 e 2011, em Passo Fundo, para as cultivares de trigo: BRS 177, BRS 194, BRS 276, BRS 296, BRS Louro, Guabiju, Guamirim e Timbaúva. Para estimar potenciais impactos de mudança do clima global no rendimento de grãos e na severidade da giberela, foram simulados 54 experimentos correspondendo a 27 locais do estado do Paraná. Sendo para cada local, usados trinta anos (1980 a 2009) de dados meteorológicos observados e, 16 *ensembles* de trinta anos (2070 a 2099) de dados meteorológicos de prognósticos correspondentes ao cenário A2 do IPCC. A cultivar usada nestes experimentos foi a BRS Louro. Pode-se observar que o banco de dados AgroDB serviu de recurso de suporte e integração para a realização das simulações, e para o gerenciamento

dos dados, tornando o processo ágil e seguro. Além disso, pode-se efetuar a avaliação e calibração do modelo *Cropsim-Wheat* em relação aos estádios fenológicos e ao rendimento de grãos do trigo. Também constatou-se através das simulações, que os cenários de mudança do clima global testados aumentaram o rendimento de grãos de trigo nos anos 2070 a 2099 em relação aos anos 1980 a 2009. Além disso, verificou-se o aumento na severidade da giberela, nos anos 2070 a 2099 em relação aos anos 1980 a 2009, o que pode causar um alerta em relação ao controle da doença e a qualidade dos grãos de trigo que serão produzidos futuramente.

**Palavras chave:** AgroDB, giberela, IPCC, meteorologia.

INTEGRATION OF DATABASE AND CROP MODELS TO  
ESTIMATE THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON YIELD  
AND THE SEVERITY OF GIBERELA IN WHEAT

**ABSTRACT** - This study aimed to use database technology, integrated with crop models and epidemiological models, to estimate the impact of global climate change on yield and severity of giberela in wheat. For this, was created and implemented a generic project database system called AgroDB, which has the necessary characteristics for integration with crop models. As a case study the models used were Cropsim-Wheat and GIBSIM. We performed the evaluation and calibration of the crop model Cropsim-Wheat, in relation to yield and growth stages of wheat. In this sense, we used two conventional field experiments, performed in the years 2010 and 2011 in Passo Fundo to cultivars: BRS 177, BRS 194, BRS 276, BRS 296, BRS Louro, Guabiju, Guamirim and Timbaúva. To estimate potential impacts of global climate change on yield and severity of giberela, 54 experiments were simulated, corresponding to 27 stations in the state of Paraná. As for each location, used 30 years (1980-2009) of observed climate data and, 16 ensembles of 30 years (2070 to 2099) corresponding to the IPCC A2 scenario. The cultivar used in these experiments was the BRS Louro. It can be observed that the database AgroDB served as resource of integration, to perform the simulations, and data management, making the process fast and secure. In addition, you can perform the evaluation and calibration of the crop model Cropsim-Wheat regarding to growth stages and yield of wheat. It was found, through simulations, that global climate change scenarios

4

(IPCC A2) increase the yield of wheat in the years 2070 to 2099 compared to years 1980 to 2009. Moreover, it was verified an increase in the severity of giberela in the years 2070 to 2099 compared to years 1980 to 2009, which can cause an alert about the control of disease and the quality of the grain of wheat that will be produced in the future.

**Keywords:** AgroDB, giberela, IPCC, meteorology.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*), entre as culturas existentes, destaca-se como um alimento importante para a humanidade, sendo cultivado em várias partes do mundo. Por isso, possui relevância econômica e social. A produtividade do trigo é muito variada, sendo afetada por diversos fatores como as condições do solo, do clima e do manejo, entre outras.

No Brasil, a maior parte do cultivo do trigo localiza-se na Região Sul, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Desta forma, também nestes estados, a cultura do trigo está sujeita a maiores adversidades climáticas. Dentre elas, o aumento da temperatura do ar no globo terrestre, ocasionado pelo denominado “efeito estufa”.

No relatório sobre mudanças climáticas permanece a tendência de aumento da temperatura média do ar e a possibilidade iminente da ocorrência de eventos extremos, como secas e enchentes (IPCC, 2007).

O aquecimento global provavelmente terá um impacto negativo nos trópicos e em algumas outras áreas onde altas temperaturas do ar ou chuvas inadequadas frequentemente irão limitar a produção das culturas. Regiões onde baixas temperaturas do ar são primariamente fatores limitantes da produção agrícola serão beneficiadas pelo maior aquecimento. Os produtores em regiões temperadas do ar, onde a maioria da alimentação é produzida, deverão encontrar caminhos alternativos para práticas de produção para evitar a ocorrência de temperaturas do ar particularmente sensíveis durante

os estádios fenológicos das culturas e breves períodos de temperaturas do ar extremamente elevadas. A importância relativa de algumas culturas em certas áreas irá alterar devido ao aquecimento global, e fatores econômicos determinarão essas mudanças (REDDY et al., 2000).

A giberela ou fusariose da espiga é, atualmente, uma das mais importantes doenças da cultura do trigo, podendo acarretar perdas na lavoura e na saúde animal, por meio do acúmulo de micotoxinas nos grãos de trigo. Epidemias severas têm sido observadas nos últimos anos em diversas regiões do mundo, promovendo perdas na produtividade e na qualidade dos grãos. No Brasil, a giberela alcançou o status de principal doença nas regiões tritícolas, principalmente no Sul do Brasil (DEL PONTE et al., 2004).

As culturas respondem às condições meteorológicas de forma extremamente complexa, em geral, não linear. Experimentos convencionais, no campo, fornecem respostas limitadas, em função da restrita amplitude de condições climáticas. A resposta do rendimento de grãos das culturas ao clima depende fortemente do manejo e atributos do solo. Além disso, a variabilidade espacial e temporal de todos estes fatores torna impossível obter observações empíricas que ofereçam apoio à decisão para situações específicas.

Paralelo à condução de experimentos físicos, surgem os realizados com auxílio do computador que complementam as observações obtidas no campo oferecendo uma compreensão mais holística de como as culturas respondem à variabilidade meteorológica.

Os modelos de simulação de culturas combinam dados meteorológicos, física do solo, química do solo, fisiologia vegetal, genótipo e manejo cultural em uma superfície homogênea. Esses modelos geram saídas que resultam da interação solo, dados meteorológicos, planta e práticas de manejo. Um exemplo, é o modelo de simulação da cultura do trigo *Cropsim-Wheat*, pertencente ao sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*).

Em alguns modelos de simulação de culturas podem estar acoplados a modelos epidemiológicos. Um exemplo de modelo epidemiológico é o GIBSIM (DEL PONTE et al., 2005). Ele foi desenvolvido na Embrapa Trigo em colaboração com a Universidade Federal de Pelotas e a Universidade de Passo Fundo. O GIBSIM pode ser conectado ao simulador de crescimento do trigo – SimTrigo (FERNANDES & PAVAN, 2002) ou rodar independentemente partindo-se da informação da data de início de espigamento. Esse tipo de modelo pode ser utilizado para simular a severidade de ocorrência da giberela.

Neste sentido, uma abordagem ainda mais audaciosa é associar os modelos de simulação de culturas baseados em processos com cenários de mudanças do clima, fornecendo a possibilidade de analisar os impactos dessas mudanças sobre o rendimento de grãos e comportamento epidemiológico nas culturas.

Existem trabalhos referentes ao uso de previsões climáticas relacionadas ao fenômeno ENSO, que tem por objetivo analisar a influência desse fenômeno na agricultura e verificar alternativas que auxiliem na tomada de decisão (CABRERA et al.,

2009; HANSEN & JONES, 1998). Outros trabalhos abordam o uso dos dados fornecidos pelos modelos regionais de circulação climática (*Regional Circulation Model*) associados a modelos de simulação do crescimento de culturas com o objetivo de avaliar a previsibilidade do rendimento de grãos de culturas e as incertezas da produção (BAIGORRIA et al., 2007; BAIGORRIA et al., 2008a).

Alguns trabalhos são focados em culturas específicas como o algodão, milho e soja. A maioria desses trabalhos apresenta métodos de previsão de rendimentos grãos, incertezas e auxílio no manejo das culturas, associados aos modelos de circulação regionais (BAIGORRIA et al., 2008; FRAISSE et al.; 2008; MARTINEZ et al, 2009).

Também existem linhas de pesquisa relacionadas ao desenvolvimento de sistemas informatizados que auxiliam a tomada de decisão, gerenciamento e previsão, em relação aos riscos associados à influência do clima na agricultura (FRAISSE et al., 2006; LANDSCHOOT. et al., 2013; SAHA et al., 2006).

Recentemente, realizou-se um estudo avaliando o impacto da variabilidade climática em relação a giberela num período de tempo de cinquenta anos na cidade de Passo Fundo (DEL PONTE et al., 2009). Nesse estudo, também avaliou-se um índice de risco de ocorrência da doença associado aos anos que ocorrem os fenômenos climáticos El Niño, La Niña e anos neutros. Portanto, baseado nos trabalhos estudados, não se verificou trabalhos que sejam focados no uso de modelos de simulação do crescimento do trigo associados a projeções de cenários do clima, e em relação a severidade da giberela na região sul do Brasil.

Combinando pesquisa de campo com simulação e análise, é possível avançar no conhecimento visando a sistemas de produção que sejam economicamente e ambientalmente sustentáveis e, ainda, realizar um prognóstico dos riscos relacionados às mudanças do clima. Desta forma, este trabalho teve por objetivo investigar que potenciais impactos o panorama de mudança do clima pode acarretar na cultura do trigo, principalmente em relação ao seu rendimento de grãos e a severidade da ocorrência da doença giberela, e, por consequência, prever a redução dos riscos associados a doença.

Para alcançar tal objetivo, primeiramente desenvolveu-se uma estrutura tecnológica genérica utilizando recursos de banco de dados integrados com modelos de simulação de culturas agrícolas e modelos epidemiológicos. Após, realizou-se a calibração do modelo *Cropsim-Wheat* em relação aos estádios fenológicos e o rendimento de grãos do trigo em relação a experimentos convencionais, executados nos anos de 2010 e 2011, para um grupo de cultivares indicadas para região sul do Brasil. Por fim, realizou-se as simulações, para 27 localidades do Paraná, usando dados meteorológicos observados de trinta anos (1980 a 2009) e trinta anos (2070 a 2099) de dados meteorológicos de prognósticos, associados ao cenário de mudança do clima A2 do IPCC.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Trigo

O trigo (*Triticum aestivum* L., família *Poaceae*) chegou ao Brasil ainda no período colonial e as primeiras experiências com o produto foram realizadas em São Vicente, no estado de São Paulo. Após isso, seu cultivo migrou para a região Sul do país, onde encontrou um ambiente, clima e solo, mais adequado às suas necessidades. Com a independência e a fase imperial e com a chegada dos alemães (1824) e dos italianos (1875), o cultivo do trigo teve impulso nas regiões do sul do Brasil, iniciando os empreendimentos industriais de moagem na Serra Gaúcha.

É uma planta de ciclo anual, cultivada durante o inverno e a primavera. O grão é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito, pode ser cultivado sob condições de sequeiro ou irrigado e, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano, é usado também como ração animal.

O levantamento de área plantada no Brasil, para a safra 2012/2013, foi de 1.882,6 mil ha, com uma estimativa de produção de 4.462,8 mil toneladas de grãos (CONAB, 2013). No entanto, a média de consumo anual do trigo tem sido de 10.465 mil toneladas, o que implica a necessidade de importação do grão (CUNHA et al., 2011).

O trigo possui uma capacidade de adaptação aos mais diversos ambientes, pois é cultivado em regiões com características climáticas diferentes pelo mundo. No Brasil, há duas regiões mais propícias para a produção do trigo, a região Sul, que abrange os

estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o sul e centro do Paraná, e a região Norte, formada pelo norte do Paraná, pelo Mato Grosso do Sul e por parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Goiás, Bahia e Pernambuco. A região Sul também pode ser distinguida pela maior ou menor intensidade do frio. A região Norte, por sua vez, é caracterizada pelas cultivares com pouca exigência de frio – vernalização (CUNHA et al., 2011a).

Segundo Mota (1989), os principais problemas, da cultura do trigo, relacionados ao clima no Brasil são: i) excesso de umidade relativa do ar, principalmente nos meses de setembro e outubro; geada no espigamento; chuva na colheita e granizo (região temperada); ii) umidade relativa do ar elevada, geada e seca no espigamento e chuva na colheita (região subtropical); e iii) umidade relativa elevada no verão e temperatura do ar elevada durante o período de enchimento de grãos (região tropical).

De forma geral, da semeadura à colheita, o ciclo de desenvolvimento do trigo pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos. A etapa vegetativa corresponde aos estádios semeadura, emergência e perfilhamento. A etapa reprodutiva corresponde aos estádios: duplo anel, espiguetas terminal, espigamento e antese. Por fim, a fase de enchimento de grãos é composta pelos estádios: início do enchimento de grãos, maturação fisiológica e colheita. A Figura 1 mostra a escala de Zadoks (1974), ilustrando as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo.

O trigo é acometido por diversos problemas que afetam o seu desenvolvimento, comprometendo a produtividade e a qualidade

dos grãos. Os problemas podem ser causadas por fatores abióticos (frio ou calor excessivos, escassez ou excesso de água, desbalanço nutricional, granizo, fitotoxidez por produtos químicos) ou agentes bióticos (patógenos).

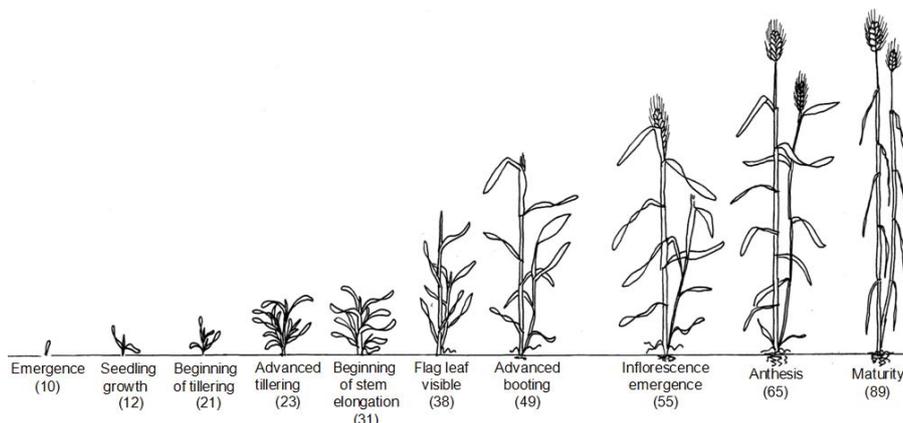


Figura 1 - Escala de Zadocks (1974), mostrando os estádios fenológicos do desenvolvimento da cultura do trigo.

Considerando os agentes bióticos, a doença ocorre se, na presença do inóculo do patógeno, houver disponibilidade do hospedeiro em estágio fenológico suscetível e quando as condições do ambiente forem favoráveis. No Brasil, as principais doenças causadas por seus respectivos agentes bióticos, conforme Lau et al. (2011), são:

**Viroses:**

- Nanismo amarelo - *Barley/Cereal yellow dwarf virus* (B/CDYDV);

- Mosaico comum - *Soil-Borne wheat mosaic virus* (SBWMV).

**Doenças bacterianas:**

- Queima da folha - *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*;

- Estria bacteriana - *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa*.

**Doenças Fúngicas:**

- Giberela - *Giberella zeae*;
- Brusone - *Magnaporthe oryzae*;
- Mal-do-pé - *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*;
- Oídio - *Blumeria graminis*;
- Carvão-da-espiga - *Ustilago nuda* f. sp. *tritici*;
- Cária - *Tilletia tritici* e *T. laevis*;
- Mancha amarela - *Pyrenophora tritici-repentis*;
- Mancha Marrom - *Cochliodorus sativus*;
- Mancha da gluma - *Phaeosphaeria nodorum*;
- Podridão comum das raízes - *Fusarium* spp. e *Bipolaris sorokiniana*;
- Ferrugem da folha - *Puccinia triticina*;
- Ferrugem do colmo - *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*;
- Ferrugem estriada - *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*.

**2.2 Giberela**

A giberela, também conhecida como fusariose, afeta espigas de trigo e de outros cereais de inverno como cevada, triticale, centeio e aveia. Causa prejuízos econômicos, sociais e de saúde humana e animal, devido à redução de rendimento e de qualidade dos grãos e derivados. No Brasil, os danos variam de 14% (REIS et al., 1996) a aproximadamente 60% (LIMA et al., 2006).

A doença pode causar dois tipos de danos: direto e indireto. Os danos diretos se devem ao abortamento de flores e à

formação de grãos chochos, enrugados, de baixo peso e reduzida densidade, diminuindo rendimento da lavoura (REIS, 1988). Os danos indiretos são causados pela redução de amido, proteínas, celulose e hemicelulose (DEXTER & NOWIKI, 2003). Além disso, os grãos infectados podem ser tóxicos para seres humanos e animais, devido ao acúmulo de micotoxinas, dentre elas a DON (Deoxinivalenol).

Os sintomas que caracterizam a doença são espiguetas despigmentadas, de coloração esbranquiçada ou de cor palha (Figura 2). As aristas das espiguetas afetadas desviam-se do sentido normal das aristas das espiguetas não afetadas e as espigas adquirem o aspecto arrepiado. Em genótipos muito suscetíveis, ou em anos que as condições ambientais são muito favoráveis, toda a espiga pode ser afetada e adquire uma cor amarronzada (REIS, 1988; PARRY et al.,1995).

O fungo causador da giberela apresenta dois nomes científicos em razão da ocorrência de duas fases, com genética e morfologia, distintas em seu ciclo de vida. Uma fase é denominada assexual ou imperfeita, com a produção de esporos haplóides resultantes da reprodução por mitose. Neste caso, o fungo é denominado *Fusarium graminearum*. A outra fase é denominada sexual ou perfeita, onde ocorre cariogramia e meiose na formação dos ascósporos, sendo denominado *Gibberella zeae* (REIS, 2011).

A giberela é uma doença monocíclica, mas a sua severidade pode aumentar com a infecção de seu micélio em outras espigas. A fonte de inóculo principal é constituída por ascósporos que sobrevivem em restos de culturas, no solo, em sementes e hospedeiros.



Figura 2 - Espiga do trigo com espiguetas de cor esbranquiçada e grãos chochos, caracterizando sintomas da doença giberela.

Fonte: Del Ponte et al., 2004.

As condições meteorológicas do ambiente favorecem o desenvolvimento da doença, principalmente quando em elevadas umidades e temperaturas do ar. No Brasil, em trigo, a doença se desenvolve no estágio da espiga recém emergida, ocorrendo temperatura do ar alta (20°C a 25°C) e de precipitação pluvial de, no mínimo, 48 horas consecutivas (LAU et al., 2011).

Medidas de controle como aplicação de fungicidas têm sido pouco eficazes no controle da doença (PARRY et al., 1995; FERNANDES, 1997). O escalonamento de épocas de semeadura e o uso de cultivares de ciclos reprodutivos diferentes podem minimizar os danos. No Brasil e no mundo tem se intensificado o desenvolvimento de cultivares resistentes. No entanto, para que isso

ocorra, várias medições de doença devem ser feitas, pois existem vários tipos de resistências e estas se expressam de maneira diferente (LAU et al., 2011).

### **2.3 Modelos de simulação**

Os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade, isso devido ao fato de serem dinâmicos, ou seja, mudam seu estado ao longo do tempo e também por possuírem uma natureza aleatória, que é regida por variáveis aleatórias. O modelo de simulação busca repetir, por intermédio do uso do computador, com fidelidade, características, comportamento e condições do sistema do mundo real (CHWIF & MEDINA, 2006).

Modelos de simulação têm auxiliado há mais de sessenta anos o setor agrícola, no sentido de tentar resolver seus problemas, ou ao menos prevê-los. Tal modo de observação da realidade, integrado e multidisciplinar, constitui o atributo fundamental do que, usualmente, se designa por investigação de sistemas agrícolas (BRAGA et al., 2005).

Os modelos de simulação de culturas são capazes de prever o rendimento final de grãos e também representar a simulação da dinâmica do crescimento das culturas através da integração numérica, com a ajuda de computadores. Esses modelos de simulação são programas de computadores que representam, matematicamente, o crescimento das plantas em relação ao ambiente (GRAVES et al., 2002).

Os modelos de simulação de culturas, compostos pelo sistema solo-planta-atmosfera, podem ser considerados os métodos

mais adequados e de mais baixo custo para realizar pesquisas relacionadas à variabilidade ambiental. Esses permitem a determinação dos riscos envolvidos na produção agrícola em função dos principais componentes de produção, utilizando séries climatológicas históricas ou sintéticas (PAVAN, 2007).

Os modelos de simulação de culturas podem auxiliar no entendimento de fatores que interferem nas plantas, assim como indicar alternativas no manejo da cultura perante diferentes cenários para o sistema de produção. Define-se um sistema como a parte de um todo, constituído por uma série de componentes e suas inter-relações. Um modelo de sistema agrícola deve ter uma estrutura hierárquica composta de vários subsistemas (módulos) de definição autônoma e cujo exercício funcional deve fornecer uma descrição compreensiva e quantitativa do sistema de produção (FERNANDES et al., 1994).

Portanto, a tarefa de desenvolver modelos de simulação de crescimento de culturas não é uma tarefa simples, pois, além de trabalhar com uma grande quantidade de variáveis, também necessita de uma equipe multidisciplinar e interinstitucional, isso pelo fato de várias áreas estarem envolvidas no desenvolvimento. Nesse sentido, alguns grupos de desenvolvimento de modelos de simulação, associados a culturas agrícolas, têm canalizado esforços e desenvolvido alguns sistemas computacionais de simulação do crescimento de culturas agrícolas. Dentre os principais sistemas, pode-se citar: APSIM (*Agricultural Production System sIMulator*); Daisy; Century; DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*); STICS (*Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard*); WOFOST (*World Food Studies*); e AquaCrop

(AQUACROP, 2012; CENTURY, 2012; COURAULT & RUGET, 2001; ICASA, 2013; PAVAN, 2007; WOFOST, 2012).

### **Sistema DSSAT**

O DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) é um modelo de simulação do desenvolvimento e crescimento de culturas desenvolvido pelo projeto ICASA (*International Consortium for Agricultural System Applications*). A versão 4.5 do sistema compreende modelos de simulação para 28 culturas (ICASA, 2013).

Dentre as funcionalidades do DSSAT estão incluídos programas que dão suporte ao uso de bases de dados associadas a características de solo, clima, manejo e gerenciamento da cultura e dados experimentais. O modelo simula o crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos da cultura, através de uma função dinâmica baseada no sistema solo-planta-atmosfera (ICASA, 2013).

Os modelos de simulação de culturas requerem como entradas dados meteorológicos, informações sobre as camadas do solo e manejo detalhado de cada cultura. DSSAT também fornece saídas para a avaliação dos resultados dos dados dos experimentos. Também é possível comparar os dados simulados com os dados observados de experimentos reais. As informações genéricas sobre as culturas são fornecidas pelo DSSAT e as informações específicas das cultivares e suas variedades são fornecidas pelo usuário. As simulações podem ser iniciadas a partir do plantio/semeadura ou até mesmo no período anterior a este, o período de pousio. As simulações são conduzidas

com passo diário de tempo. No final do dia, a planta, o balanço de água no solo, de nitrogênio e carbono são atualizados, bem como os estádios dos desenvolvimentos vegetativos e reprodutivos das culturas (ICASA, 2013).

O DSSAT é uma coleção de programas independentes que interagem entre si, na qual os modelos de simulação de culturas ficam no centro (Figura 3), ao passo que as bases de dados descrevem o clima, solo, observações e condições experimentais, além de informações sobre genótipos para aplicar nos modelos em diferentes situações (JONES et al., 2003).



Figura 3 - Estrutura do modelo DSSAT, mostrando os principais componentes (Bases de Dados, Modelos e Aplicações) e suas relações.

Fonte: PAVAN, 2007

Atualmente, o DSSAT está na versão 4.5, no entanto, já há previsão para que, em breve, seja disponibilizada a versão 4.6, na qual serão incorporadas mudanças na estrutura dos modelos de cultura e na interface dos modelos e serão associadas análises e programas utilitários. Também serão incorporadas características sazonais, espaciais, análises de riscos econômicos de rotação e sequências de culturas, impactos no meio ambiente associados à irrigação, uso de

fertilizantes e gerenciamento de nutrientes, variabilidade climática, mudanças climáticas, retirada de carbono do solo e agricultura de precisão (ICASA, 2013).

### **Modelo de simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo - *Cropsim-Wheat***

O modelo de simulação *Cropsim-Wheat* pertence ao sistema DSSAT e é o responsável pela simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo.

O *Cropsim-Wheat* é usado por diversos pesquisadores no Brasil e no mundo. O modelo permite a parametrização através de arquivos em formato texto. Os resultados das simulações são disponibilizados em arquivos no formato texto e podem ser usados como entrada para outros modelos de simulação (FERNANDES et al., 2004).

O modelo consiste em um módulo de planta do trigo que se conecta aos módulos existentes no sistema DSSAT, que acumulam a energia e a água necessária para o crescimento da planta. O módulo do trigo é o responsável pela simulação dos eventos fenológicos, expansão foliar, acúmulo de carboidratos e a partição entre a parte aérea e as raízes (MALLMAN, 2009).

O funcionamento do modelo é realizado em três etapas. Na primeira, são fornecidos os arquivos com os dados de entrada da simulação; na segunda é realizada a simulação; e, por fim, na terceira etapa, são gerados os arquivos com os resultados da simulação.

Na primeira etapa, são gerados os seguintes arquivos:

- .WTH: arquivo com os dados meteorológicos. Os principais

dados necessários nessa etapa são: temperaturas do ar (máxima e mínima), precipitação, radiação solar e concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera;

- .SOIL: arquivo com os dados de solo por camadas;
- .WHX: arquivo que gerencia a execução, no qual são descritos os tratamentos, a identificação dos arquivos de solo e clima, detalhes da semeadura, condições iniciais e manejo.;
- .CUL: arquivo que contém os coeficientes da cultivar, como exemplo: sensibilidade ao fotoperíodo, características fenológicas, taxa de fotossíntese à luz saturada, área foliar específica, peso máximo de sementes;
- .ECO: arquivo que contém os coeficientes de resposta da planta em relação ao ambiente (ecotipo). Possui alguns atributos genéticos, os quais permitem diferenciar cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado;
- .CFG: arquivo com as configurações para a execução do Cropsim, tais como diretórios, módulos, arquivos e programas;
- .SOM: abreviatura de *Soil Organic Matter*. Arquivo que contém os parâmetros necessários para a simulação da matéria orgânica no solo.
- .SPE: arquivo que caracteriza a espécie. Possui coeficientes que caracterizam a composição básica dos tecidos e alguns processos da planta como: fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento.

Após ser executado o simulador, segunda etapa do

funcionamento da simulação, os resultados (terceira etapa da simulação) são gerados em arquivos texto identificados pelas seguintes extensões: .OUT, .LOG e .WHM.

### **Modelo de simulação de epidemias**

No sentido de simular potenciais ocorrências de doenças em plantas, alguns esforços têm sido feitos no sentido de desenvolver modelos de simulação de doenças de plantas. Dessa forma, pode-se prever ou até mesmo anteceder possíveis perdas ou danos que possam ser ocasionados pela ocorrência de doenças na lavoura.

A maioria dos simuladores de epidemias traz em si a equação da taxa básica de infecção de Vanderplank. Os modelos mais simples se baseiam na equação original, considerando um período latente ( $p$ ), um período infeccioso ( $i$ ) e uma taxa de crescimento da infecção ( $R$ ) (FERNANDES, 1997).

Del Ponte et al. (2006), descrevem 12 modelos de simulação de doenças. Citam que os modelos de simulação podem ser divididos em dois grupos: modelos epidemiológicos e modelos aerobiológicos. Os modelos epidemiológicos visam imitar os processos biológicos do ciclo da doença, estimando o seu desenvolvimento, considerando a disponibilidade de inóculo local. Os modelos aerobiológicos são mais complexos, pois englobam um número maior de variáveis, e visam prever o transporte e a difusão de inóculo por meio do ar em grandes distâncias. Esse tipo de modelo é usado principalmente para prever o potencial de entrada do inóculo e, em alguns casos, a infecção subsequente do hospedeiro e a colonização.

Pavan (2007) descreve a implementação e utilização de um modelo genérico de doenças. Tal modelo foi denominado “Modelo de Simulação de Pragas” (MSP). Esse modelo foi construído usando técnicas de MVC, multicamadas e orientação a objetos. A Figura 4 mostra o relacionamento entre as camadas e os respectivos servidores.

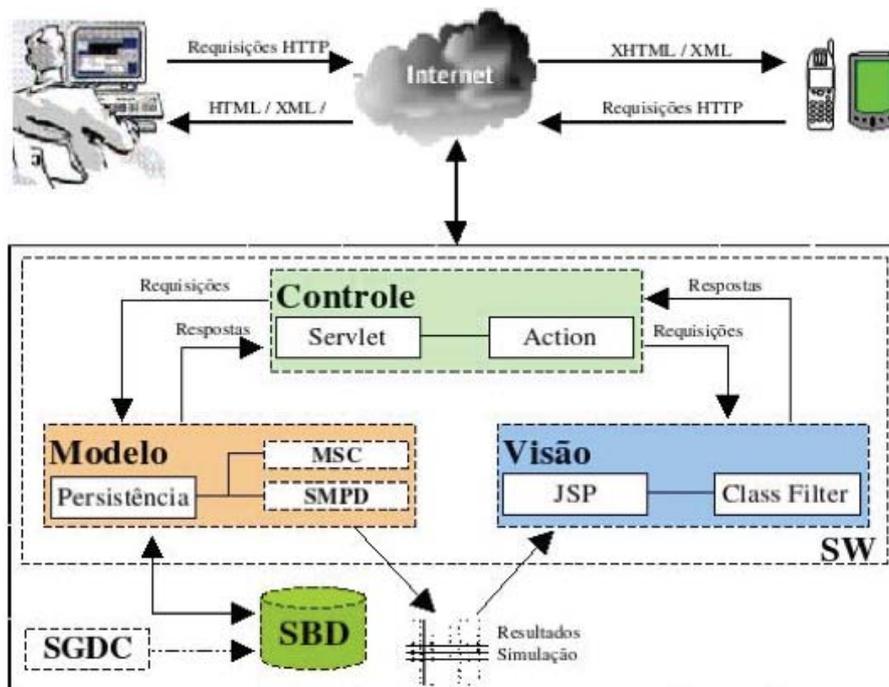


Figura 4 - Arquitetura dos servidores (SGDC, SBD, SMPD, SW e MSC) do modelo de simulação de pragas (MSP) e seus relacionamentos nas camadas.

Fonte: PAVAN, 2007.

Para a execução do modelo foram criados servidores com funcionalidades distintas, divididos em servidor de gerenciamento de dados climáticos (SGDC); servidor de banco de dados (SBD); servidor de modelos de previsão de doenças (SMPD); servidor web (SW) e; servidor de modelo de simulação de culturas (MSC). O funcionamento é de forma paralela e dinâmica, sendo cada

componente controlado pelas regras definidas em cada servidor (PAVAN, 2007).

Para a avaliação do modelo, o autor utilizou o modelo de doença do patossistema da ferrugem da folha do trigo associado ao modelo do crescimento e desenvolvimento a cultura do trigo *Cropsim-Wheat*. No entanto, o modelo é parametrizado e pode ser usado para outras doenças. Atualmente, o modelo MSP serve de base para outros patossistemas, como por exemplo, o da doença do trigo denominada giberela, através do modelo de simulação de doença denominado Gibsim, descrito por Del Ponte et al. (2004).

#### **2.4 Banco de dados**

No final da década de 1960 e início da década de 1970, tiveram início os primeiros projetos de criação de bancos de dados, pois havia a necessidade de criar e manipular bases de dados por meio de estruturas que fossem armazenadas no disco rígido. Surgiram, então, os modelos de bancos de dados em rede e hierárquicos. Em 1970, o pesquisador da IBM Ted Codd publicou o artigo intitulado “Relational Model of Data for Large Shared Data Banks” na revista *Association for Computing Machinery (ACM)* falando sobre bancos de dados relacionais. Seu trabalho, baseado na álgebra e cálculo relacional, teve por objetivo um sistema onde o usuário podia ser capaz de acessar informações, armazenadas na base de dados, através de comandos em inglês (SILBERCHATZ *et al.*, 2006).

No início da década de 1980 surgem os primeiros esforços das organizações ANSI (*America National Standards Institute*) e ISO (*International Standards Organization*) para a padronização dos

métodos de acesso aos bancos de dados relacionais. Essas atividades permitiram a criação da linguagem SQL (*Structured Query Language*), utilizada atualmente como linguagem padrão para bancos de dados relacionais e base para outros tipos de modelos pós-relacionais.

De forma conceitual, um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) é composto por uma coleção de dados inter-relacionados e por um conjunto de programas que acessam tais dados. Essa coleção é denominada “banco de dados” e contém as informações relevantes ao domínio da aplicação. O conjunto de programas do SGBD é responsável por gerenciar o banco de dados, fornecendo suporte aos métodos de acesso, ou seja, maneiras para armazenar e recuperar informações de forma conveniente e eficiente (SILBERCHATZ *et al.*, 2006).

A utilização de SGBDs possibilita usufruir de recursos tecnológicos para o tratamento, gerenciamento e segurança dos dados. Através de linguagens procedurais (*Procedural Languages - PLs*), pode-se escrever códigos que implementam de regras de negócios, as quais definem ou restringem aspectos da aplicação. Geralmente, os códigos são implementados por meio de funções e/ou gatilhos (*triggers*). Com o uso de transações, o SGBD gerencia a execução de programas que acessam e possivelmente atualizam vários itens de dados (SILBERCHATZ *et al.*, 2006). Para garantir que transações simultâneas sejam executadas de forma isolada, um SGBD utiliza o recurso chamado controle de concorrência. Os esquemas de controle de concorrência se baseiam em protocolos de serialização das transações e técnicas de bloqueio. A questão de segurança em banco

de dados aborda técnicas utilizadas para proteger os dados contra pessoas que não estão autorizadas a acessar determinadas partes, ou todo o banco de dados. Para proteger o banco de dados podem ser implementados quatro tipos de medidas: controle de acesso, controle de inferência, controle de fluxo e criptografia (ELMASRI & NAVATHE, 2005).

### Arquitetura de um SGBD e modelos de dados

A arquitetura de um SGBD é composta basicamente por três níveis (Figura 5). O primeiro nível é denominado interno e é responsável pelo gerenciamento dos dados armazenados no meio físico do SGBD. O segundo é denominado conceitual, que é responsável por fornecer uma visão única da aplicação. No terceiro nível, chamado de externo ou do usuário, cada aplicação possui a sua visão particular dos dados da aplicação.

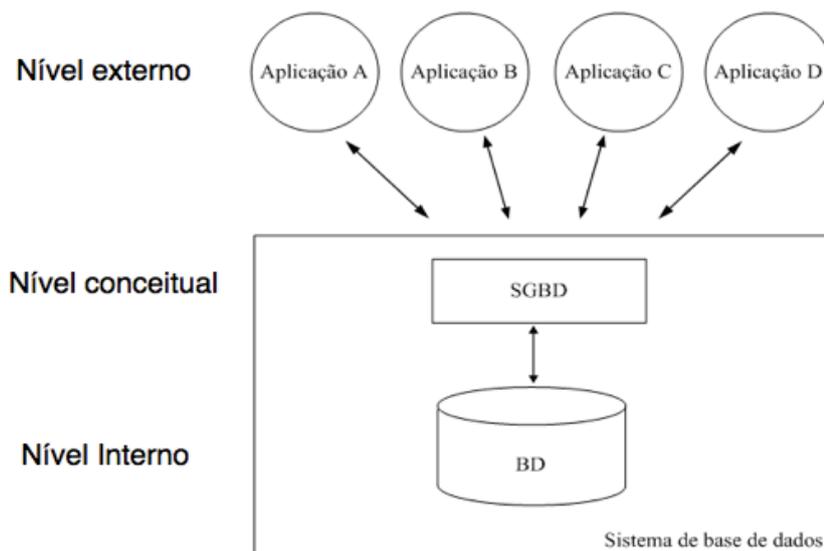


Figura 5 - Arquitetura básica de um SGBD demonstrando os níveis: externo, conceitual e interno de um sistema de gerência de banco de dados.

Segundo Elmasri e Navathe (2010), um modelo de dados fornece um conjunto de conceitos usados para descrever a estrutura de um banco de dados. Os modelos de alto nível ou conceituais descrevem os dados da forma como os usuários os percebem. Os modelos de baixo nível ou físicos descrevem os conceitos de como os dados são implementados, armazenados e manipulados no computador.

Atualmente, existem diversos modelos de representação de dados e, dependendo da necessidade, faz-se a escolha de definição do modelo a ser usado. Alguns destes modelos são descritos a seguir:

(i) Modelo relacional: representa o banco de dados como uma coleção de relações (tabelas). A linha da tabela indica uma coleção de valores relacionados, denominados tuplas. O conceito de relação, ou tabela, é semelhante ao conceito de conjunto da matemática, ou seja, uma tabela é constituída por uma série de elementos (atributos) que possuem características comuns.

(ii) Modelo orientado a objetos: composto por sistemas de bancos de dados que aceitam um sistema de tipo orientado a objeto e permite acesso direto aos seus dados por uma linguagem de programação orientada a objetos usando um sistema de tipo nativo da linguagem (SILBERCHATZ *et al.*, 2006).

(iii) Modelo objeto-relacional: surgiu como uma forma de estender os SGBDs relacionais com características presentes em SGBDs orientados a objeto (ELMASRI & NAVATHE, 2010). Alguns SGBDs comerciais, como Oracle, Informix e PostgreSQL, já implementam características objeto-relacional.

(iv) Modelo geográfico: os sistemas de informação

geográfica (*Geographic Information System - GIS*) são usados para coletar, modelar, armazenar e analisar informações que descrevem as propriedades físicas do mundo geográfico. O escopo abrange dois tipos de dados: (i) dados espaciais: que são derivados de mapas, imagens digitais, fronteiras administrativas e políticas, estradas, redes de transporte, dados físicos, como rios, características de solo, regiões climáticas e elevações da terra; (ii) dados não espaciais: englobam dados socioeconômicos (como contagem de censo), dados econômicos e informações de vendas ou de marketing (ELMASRI & NAVATHE, 2010).

### **Projeto de banco de dados relacional**

O projeto de banco de dados descreve uma sequência de etapas que devem ser seguidas para a modelagem e implementação de um banco de dados. Geralmente, as etapas de um projeto de banco de dados se diferenciam pelo nível de abstração (HEUSER, 2009). Nesse contexto, o modelo relacional descreve duas metodologias de projeto, a *Top-Down* e a *Bottom-Up*, mas o ideal é mesclar as duas metodologias.

Na metodologia *Top-Down* parte-se do princípio de que se necessita criar um novo banco de dados. Inicia num nível maior de abstração (menos detalhado) e chega a um nível menor de abstração (mais detalhado), conforme mostra a Figura 6.

A etapa de especificação de requisitos é a responsável pelo levantamento das necessidades. No projeto conceitual, é utilizado um modelo conceitual que possui um conjunto de conceitos que permitem a representação dos requisitos de uma forma gráfica. Como exemplos,

pode-se citar o diagrama entidade-relacionamento e o diagrama de classes. O projeto lógico é a transformação de um modelo conceitual em um modelo lógico que é implementado (transformado em um nível mais detalhado) em um SGBD (HEUSER, 2009). O modelo físico de um banco de dados é o nível mais detalhado do projeto. Nessa etapa, é realizada a implementação do modelo lógico através de uma linguagem de banco de dados. No modelo relacional e objeto-relacional a linguagem padrão utilizada é o SQL (*Structured Query Language*) (DATE, 2003; ELMASRI & NAVATHE, 2010).

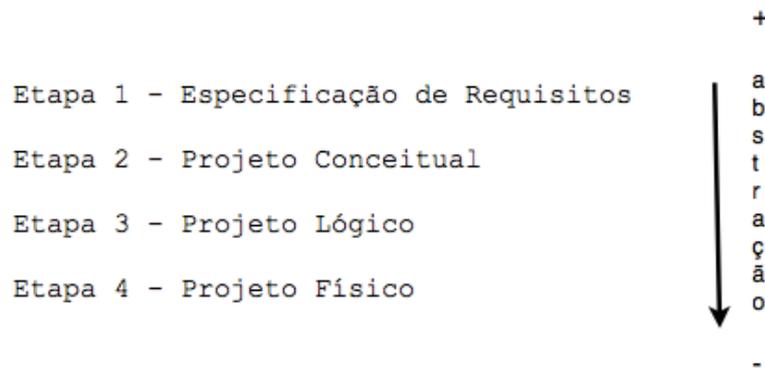


Figura 6 - Etapas necessárias para a implementação do projeto *Top-Down* de banco de dados, descritas em ordem de abstração.

A metodologia *Bottom-Up* também é conhecida como “engenharia reversa” de banco de dados. De maneira geral, o processo de engenharia reversa serve para a construção de um modelo conceitual a partir de dados já existentes, os dados legados (HEUSER, 2009).

Essa metodologia de projeto é dividida em cinco etapas sequenciais, descritas a seguir:

\* *representação como tabela não normalizada*: essa etapa tem como objetivo obter uma representação padrão das diversas fontes

de dados;

\* *normalização*: essa etapa tem por finalidade agrupar em mesmas tabelas dados relevantes e eliminar redundâncias. O processo de normalização é feito através da criação de novas tabelas;

\* *integração*: a etapa anterior de normalização das fontes de dados gera um conjunto de tabelas que são integradas de forma a gerar um esquema de banco de dados único, que represente as diversas fontes coletadas. Esse processo também é conhecido como integração de esquemas;

\* *transformação em modelo conceitual*: nessa etapa, é construído um modelo conceitual das tabelas obtidas na etapa de integração;

\* *verificação do modelo conceitual*: a normalização não conduz, necessariamente, a um modelo conceitual perfeito. Esse passo visa à verificação do modelo no objetivo de corrigir imperfeições ainda existentes.

## **2.5 Mudanças do clima global**

Atualmente, o assunto mudanças do clima global tem ganho importância nos mais diversos segmentos da sociedade. O aumento da concentração de gases na atmosfera tem causado significativas alterações no clima, ocasionando o denominado efeito estufa (IPCC, 2007).

Atividades antrópicas são as maiores causadoras da emissão desses gases para a atmosfera. Os principais gases do efeito estufa são: CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano) e o N<sub>2</sub>O (óxido nítrico), dos quais o que figura como o mais importante é o dióxido

de carbono, sendo que a sua concentração aumentou de um valor pré-industrial de 280 ppm (partes por milhão) para 379 ppm em 2005. A taxa de aumento da concentração de dióxido de carbono, entre 1995 e 2005, foi de 1,9 ppm por ano (IPCC, 2007).

A concentração desses gases na atmosfera absorve a radiação infravermelha (calor), emitida pela superfície terrestre, impedindo que retorne para o espaço, ocasionando o aquecimento da superfície terrestre e da atmosfera. As principais consequências são aumento na temperatura média do ar, aumento dos níveis dos oceanos e descongelamento de geleiras. Além disso, tem-se com maior frequência e intensidade a ocorrência de eventos meteorológicos extremos.

Alguns autores, como Bindschadler e Bentley (2005), Sturm et al. (2005) e Jauk (2005), mostram evidências de que elas já estão provocando impactos nos dias atuais, principalmente na redução da espessura do gelo na região ártica, no desmoronamento de geleiras na Antártica e na redução das geleiras acumuladas no topo de montanhas, como as do Himalaia, por exemplo.

Embora aparentemente distantes, as mudanças climáticas também ocorrerão no Brasil e, talvez, com efeitos mais danosos pela vulnerabilidade histórica que o país apresenta a desastres naturais, como secas, enchentes e deslizamentos de encostas. Contudo, há previsões de que ocorra um aumento de temperatura em todo o continente americano e aumento da precipitação em algumas regiões e diminuição em outras, podendo inclusive haver inversão em função da época do ano (PELLEGRINO, 2007).

O Brasil, com sua dimensão continental, possui uma considerável heterogeneidade meteorológica, tipos de solo e topografia. Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas do ar, pode-se admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menor a aptidão da região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Culturas tolerantes a altas temperaturas do ar provavelmente serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis a geadas, com o aumento do nível térmico decorrente do aquecimento global, passarão a apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento de vegetações (ASSAD et al., 2004).

No objetivo de estudar o cenário atual e os cenários futuros da mudança do clima, em 1988 criou-se o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), para qual o conceito de mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, que se deva à variabilidade natural ou seja decorrente da atividade humana (IPCC, 2007).

Uma das principais contribuições do IPCC foi a divulgação de um conjunto de cenários de emissão de gases de efeito estufa, no ano de 2000, por meio do *Special Report Emissions Scenarios* (SRES), sendo considerados diferenciais os fatores demografia; desenvolvimento socioeconômico e mudança

tecnológica, bem como a interação entre tais fatores (GHINI et al.; 2007).

Foram criadas quatro famílias de cenários: A1, A2, B1 e B2, sendo, a família A1, subdividida em três grupos: A1F1, A1T e A1B, caracterizados pelo desenvolvimento alternativo de energias e tecnologias (IPCC SRES, 2000).

Dentre os cenários, o B1 é considerado mais otimista e o A1F1 o mais pessimista em relação ao aumento da temperatura do ar e elevação do nível do mar. Na Figura 7 são mostradas as estimativas de aumento da temperatura e elevação do nível do mar para o ano de 2099 considerando o período de 1980-1999.

Caso	Mudança de Temperatura (°C em 2090-2099 relativa a 1980-1999) <sup>a</sup>		Elevação do Nível do Mar (m em 2090-2099 relativa a 1980-1999)
	Melhor estimativa	Faixa <i>provável</i>	Faixa com base em modelo, excluindo-se as futuras mudanças dinâmicas rápidas no fluxo de gelo
Concentrações constantes do ano 2000 <sup>b</sup>	0,6	0,3 – 0,9	Não disponível
Cenário B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Cenário A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Cenário B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Cenário A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Cenário A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Cenário A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Figura 7 - Estimativas de aumento da temperatura do ar e elevação do nível do mar associados aos cenários de mudanças climáticas descritos pelo IPCC em 2000.

Fonte: SR4 IPCC, 2007.

## CAPÍTULO I

### INTEGRAÇÃO DE BANCO DE DADOS COM MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS

Alexandre Tagliari Lazzaretti

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

Universidade de Passo Fundo

C.P. 611, 99001-970

**RESUMO** - Utilizar modelos de simulação do crescimento de plantas com o objetivo de ser uma ferramenta de transferência de tecnologia para a tomada de decisão pode ser um diferencial para agricultores e pesquisadores. Dentre os modelos de simulação de culturas existentes, o sistema *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) possui um conjunto de modelos para diversas culturas, dentre os quais o *Cropsim-Wheat*, que simula o crescimento e o desenvolvimento da cultura do trigo. Entretanto, o uso desses modelos não é uma tarefa simples, uma vez que, muitas vezes, trabalha-se com grandes quantidades de dados, tanto de entrada para o simulador, quanto de saída, em formas e unidades diferentes. Nesse sentido, um sistema de gerência de banco de dados (SGBD), além de armazenar os dados, oferece recursos tecnológicos e métodos de acesso, que permitem a definição, a manipulação e o controle dos dados.

Integrando modelos de simulação e banco de dados, este trabalho tem como objetivo apresentar o banco de dados AgroDB, cujas finalidades são ser uma ferramenta genérica de integração com modelos de simulação de culturas e ser um repositório de dados para a tomada de decisões. Nesse contexto, possibilita, a manipulação e a preparação dos dados necessários para a realização de simulações, a execução do simulador e o armazenamento e a visualização dos dados resultantes da simulação. Nessa perspectiva, são, aqui, apresentados, o projeto, as tecnologias usadas e o uso na integração com o modelo *Cropsim-Wheat*.

Palavras-chave: AgroDB, *Cropsim-Wheat*, DSSAT, PlpgSQL, Plr.

## **INTEGRATION OF DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS WITH CROP MODELS**

**ABSTRACT** - The use of crop models with the goal of being a transfer of technology tool for decision can be a differential for farmers and researchers. Among the crop models that exist, the system Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) has a set of templates for different cultures, among them the Cropsim-Wheat, which simulates the growth and development of the wheat crop. However, the use of these models is not a simple task, since it often works with large quantities of data, both for entry to the simulator and as output, in different forms and units. In this sense, a Database Management System (DBMS), in addition to storing the data, provides technological resources and access methods, which allow the definition, manipulation and control of the data. By integrating simulation models and database, this paper aims to present the database AgroDB, whose goals are to be a generic tool for integration with crop models and to be a repository of data for this. The AgroDB also enables the manipulation and preparation of the data necessary to perform simulations, the implementation of the simulator and the storage and display of data resulting from simulation. From this perspective, are here presented, the project, the technologies used in the integration and use with Cropsim-Wheat.

**Keywords:** AgroDB, Cropsim-Wheat, DSSAT, PlpgSQL, PIR.

## 1 INTRODUÇÃO

Os modelos de simulação de culturas são capazes de prever o rendimento final de grãos e também representar a simulação da dinâmica do crescimento das culturas através da integração numérica (GRAVES et al., 2002). A utilização de modelos de simulação, no sentido de se tentar prever riscos e estimar tendências, tem se tornado um importante aliado para a tomada de decisão (DONATELLI et al., 2002; SINCLAIR & SELIGMAN, 1996). Para a comunidade científica, tais modelos têm auxiliado na organização do conhecimento e em testes de hipóteses.

Os modelos de simulação de culturas geralmente necessitam de dados de entrada e, após a execução do simulador, geram dados de saída. Dependendo do tipo de simulação executada, faz-se necessário trabalhar com uma grande quantidade de dados, tanto de entrada quanto de saída. Sem os mecanismos adequados de manipulação e armazenamento, esse trabalho torna-se difícil, ou até mesmo impossível de ser realizado.

Nesse contexto, o uso de banco de dados auxilia no gerenciamento dos dados. No entanto, o projeto do banco de dados deve representar de maneira adequada os aspectos do mundo real modelado. Um banco de dados só é válido se ele representa semanticamente as necessidades das aplicações e usuários que irão utilizá-lo (HEUSER, 2009).

Um sistema de gerência de banco de dados (SGBD), além de armazenar os dados, oferece recursos tecnológicos e métodos de acesso para a definição, a manipulação e o controle dos dados,

(DATE, 2004; ELMASRI & NAVATHE, 2005; SILBERCHATZ et al., 2006).

Na literatura, alguns trabalhos já foram publicados demonstrando o uso de SGBDs associados ao setor agrícola (ALI et al., 2004; HALEY et al., 1999; SCOTT & LORD, 2003; STIGLIANI et al., 1996; VAN EVERT et al., 1999; WÖSTEN et al., 1999; XIA et al., 2003; ZULIANI et al., 2003), contudo, nenhum desses trabalhos aborda a integração com modelos de simulação.

O uso integrado de bancos de dados e modelos de simulação de culturas fornece suporte na organização da grande quantidade de dados necessária para a realização das simulações. Também, possibilita o gerenciamento dos dados fornecidos como entrada para o simulador e os seus respectivos resultados.

A integração entre banco de dados e modelos de simulação tem sido pouco explorada (CALDEIRA & PINTO, 1998). Bechini e Stöckle (2007) descrevem um trabalho que demonstra uma integração de banco de dados com um sistema de simulação de culturas. Entretanto, essa abordagem apresenta alguns pontos questionáveis:

- a) o SGBD escolhido é limitado, pois não apresenta a possibilidade de trabalhar com eventos e características geográficas, dentre outras;
- b) o projeto define uma estrutura de armazenamento "rígida", onde qualquer alteração dos requisitos exige manutenção na estrutura física do banco de dados;
- c) o SGBD é proprietário e necessita de licença de uso;

- d) a implementação do banco de dados funciona somente com o modelo de simulação descrito, não sendo possível ser adaptado, com poucas alterações em sua estrutura, a outros modelos de simulação existentes e consolidados;
- e) o trabalho com a abordagem de modelagem relacional, deixando de usar características objeto-relacionais que podem solucionar alguns problemas de projeto, como a criação de tabelas desnecessariamente ou de campos com valores nulos.

Dessa forma, visando criar uma integração entre um SGBD objeto-relacional e modelos simulação de culturas, este capítulo tem como objetivo mostrar o projeto e o uso de um banco de dados, denominado *AgroDB (Agronomy Database)*, que funciona como um repositório de dados e possibilita integração com modelos de simulação de culturas.

Dentre as principais características deste trabalho, destacam-se:

- a) a generalidade do projeto, ou seja, para adaptações a diferentes usos de modelos de simulação, necessitam-se poucas alterações nas estruturas físicas das tabelas;
- b. a utilização de recursos do modelo objeto-relacional e conceitos de normalização, minimizando o número de tabelas e campos opcionais. Assim, pode-se caracterizar de maneira mais real a semântica da aplicação;

- c. a possibilidade de integração com modelo de simulação através de um conjunto de funções de integração que permitem de forma simplificada a execução de diferentes cenários de simulação;
- d. o funcionamento como uma ferramenta, facilitando a definição, manipulação, controle e visualização dos dados.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Arquitetura de integração**

O banco de dados desenvolvido foi denominado de AgroDB (*Agronomy DataBase*) e consiste em uma ferramenta de suporte para a integração com modelos de simulação de culturas. A integração possibilita manter os dados no banco de dados, montar o experimento a ser simulado, executar as funções de integração com o modelo de simulação e visualizar os resultados obtidos.

A Figura 1 mostra a arquitetura de integração na qual está inserido, como componente principal, o AgroDB. Ele possui uma estrutura modular interligada, onde cada módulo é dividido conforme a sua funcionalidade.

Além da integração com modelos de simulação de culturas, o AgroDB se constituiu como um repositório de dados que possibilitou importação e exportação de arquivos de dados em diversos formatos. Também foi possível utilizar tecnologias de banco

de dados, como a linguagem SQL e linguagens procedurais, que auxiliaram na manipulação e interpretação dos dados.

Os modelos de simulação de culturas trabalham com dados de entrada e de saída, em formato específico. Através da integração, o AgroDB permite a exportação dos dados necessários para a execução do modelo e a importação dos dados resultantes da simulação.

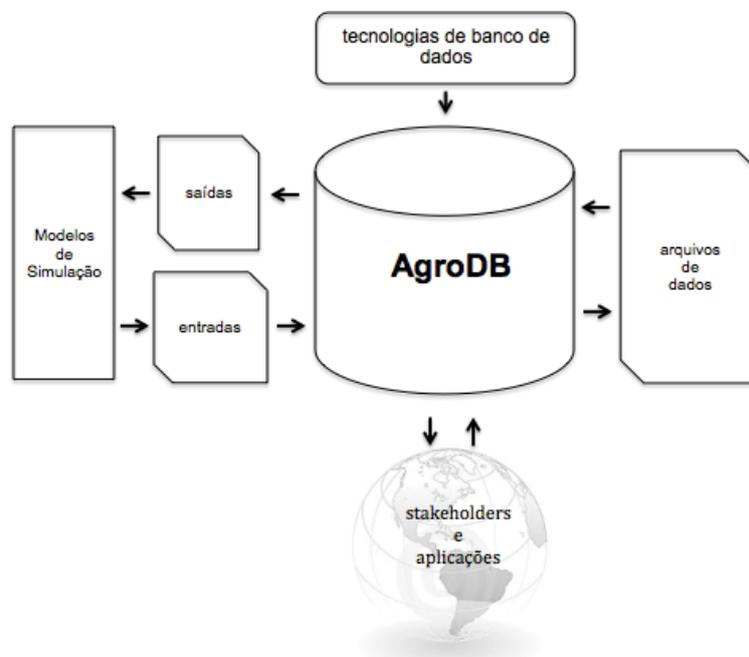


Figura 1 - Arquitetura do AgroDB. Ao centro têm-se o banco de dados que recebe e fornece arquivos de dados, tanto dos simuladores, quanto de organizações. São usadas tecnologias para possibilitar a tomada de decisão.

Por fim, conforme mostra a Figura 1, todos os dados armazenados no AgroDB, ficaram disponíveis para serem acessados e manipulados, por aplicações e por usuários responsáveis pela tomada de decisão (*stakeholders*).

## 2.2 Modelo de dados

No desenvolvimento do projeto do AgroBD foi adotado um modelo de dados relacional estendido, com características de orientação a objetos, ou seja, objeto-relacional (ELMASRI & NAVATHE, 2005).

Foram usadas e adaptadas, com as características necessárias do modelo orientado a objetos, duas metodologias de projeto: *top-down* e *bottom-up* ou Engenharia Reversa (HEUSER, 2009). Na *top-down*, iniciou-se o projeto com as necessidades da aplicação, já na *bottom-up* iniciou-se o projeto com a análise dos dados já existentes.

Seguindo o paradigma objeto-relacional, os dados foram armazenados em estruturas denominadas tabelas. Cada dado foi definido como um campo na tabela, e as tabelas se relacionaram através de valores de identificadores de objetos (*Object Identifier - OID*) ou mediante valores de referência (chaves primárias e chaves estrangeiras).

Como método de acesso ao AgroDB foi utilizada a linguagem SQL3 (*Structured Query Language*), definida em 1999, que se trata de linguagem padrão para se trabalhar com bancos de dados objetos-relacionais, pois define comandos para definição, manipulação e controle das estruturas do banco de dados (SILBERCHATZ et al., 2005).

No projeto, a criação das tabelas foi baseada num esquema "vertical" (DEHAINSALA et al., 2007), em detrimento de um esquema "horizontal" (AGRAWAL et al., 2001). Um exemplo é mostrado na Figura 2, tabela *weather\_data\_variable*, que armazenou dados meteorológicos. O campo (coluna) *variable* indica em qual

variável foram armazenados valores. Portanto, cadastrou-se a variável, que, posteriormente, foi referenciada.

id bigint	weather_data bigint	variable integer	data_type character(1)	date date	data_value tp_data
49713244	2	1285	3	1980-01-01	(,22.2,,)
49702286	2	1286	3	1980-01-01	(,9.8,,)

id integer	description character varying(200)
1283	Temperature average for whole year, C
1284	Daily dry-bulb temperature, C
1285	Daily temperature maximum, C
1286	Daily temperature minimum, C

Figura 2 - Exemplo do uso da abordagem de modelagem "vertical" para a criação de tabelas do AgroDB. São mostradas as tabelas: *weather\_data\_variable* e *variable* e a ligação de referência entre elas.

A utilização de tipos de dados abstratos foi outra escolha da etapa de projeto. Com ele, foi possível armazenar em um mesmo campo dados com formatos diferentes. Para exemplificar o uso, a Figura 3 mostra um exemplo implementado, através da criação do tipo "tp\_data" e a sua utilização na criação da tabela "weather\_data\_variable".

```
create type tp_data as(
  value_integer integer,
  value_double double precision,
  value_text text,
  value_date date,
  value_time time);

create table weather_data_variable(
  id bigint not null primary key,
  weather_data bigint not null references weather_data,
  variable integer not null references variable,
  data_type char(1) not null,
  date date not null
  data_value tp_data);
```

Figura 3 - Código SQL de criação do tipo de dados abstrato "tp\_data" e o seu uso no campo data\_value na criação da tabela "weather\_data\_variable".

### 2.3 Sistema de gerência de banco de dados

O banco de dados AgroDB foi implementado no sistema de gerência de banco de dados (SGBD) PostgreSQL, versão 9.1 (POSTGRESQL, 2012) e consiste em um SGBD objeto-relacional de código livre que possui suporte aos conceitos usados na modelagem do AgroDB.

O PostgreSQL permite trabalhar com dados geográficos e espaciais através da extensão denominada *PostGIS* (POSTGIS, 2012). Também, possibilita a integração com linguagens possibilitando a implementação de códigos usando PLs (*Procedural Languages*). O SGBD PostgreSQL 9.1 possui suporte nativo para as linguagens: *PL/pgSQL*, *PL/Tcl*, *PL/Perl* e *PL/Python* (POSTGRESQL, 2012).

Entretanto, é possível adicionar novas bibliotecas de linguagens ao SGBD. Um exemplo foi o uso da linguagem R (R PROJECT, 2012) que pode ser incorporada através da *PL/R* (PLR, 2012).

Na implementação do AgroDB, foram usadas as linguagens *Plpg/SQL* e *PL/R* para a criação das funções de integração e de análises estatísticas. Essas funções são detalhadas na seção que descreve o estudo de caso.

Através do uso de índices do tipo *B-tree* é possível melhorar o desempenho das consultas ao banco de dados. Os índices são estruturas auxiliares que melhoram o tempo de busca de dados no banco de dados. O PostgreSQL 9.1 tem suporte aos índices: *B-tree*, *Hash*, *GiST* e *GIN* (POSTGRESQL, 2012).

### 2.4 Linguagem R

A linguagem R é um ambiente computacional de desenvolvimento gratuito, que permite a realização de análises estatísticas e gráficas dos dados (R PROJECT, 2012). Possui diversos "pacotes", que são bibliotecas que realizam funções específicas, como por exemplo:

- DBI: interfaces para bancos de dados;
- RPostgreSQL: interface para o SGBD PostgreSQL;
- qualV: métodos de validação qualitativa;
- Lattice: funções gráficas;
- LatticeExtra: funções gráficas baseadas no pacote lattice.

## 2.5 Modelo de simulação

Entre os principais sistemas de simulação de culturas agrícolas, pode-se citar o DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*). O modelo de simulação *Cropsim-Wheat* faz parte do sistema DSSAT. É responsável pela simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo.

O modelo permite a sua parametrização através de arquivos no formato texto (FERNANDES et al., 2004; DELPONTE et al., 2005). Para a utilização do modelo, foram necessárias três etapas:

**Entradas:** nesta etapa, foram gerados os arquivos de dados necessários para a execução do modelo. Por meio das extensões dos arquivos, foi possível realizar a identificação da sua função:

- .WTH: arquivo com os dados meteorológicos;
- .SOIL: arquivo com os dados de solo;
- .WHX: arquivo que gerencia a execução. Nele é(são) descrito(s)

o(s) tratamento(s), a identificação dos arquivos de solo e clima, os detalhes da semeadura, as condições iniciais e o manejo;

- .CUL: arquivo que contém os coeficientes da cultivar, como exemplo: sensibilidade ao fotoperíodo, características fenológicas, taxa de fotossíntese à luz saturada, área foliar específica, máximo peso de sementes;
- .ECO: arquivo que contém os coeficientes de resposta da planta em relação ao ambiente (ecotipo). Possui alguns atributos genéticos, os quais permitem diferenciar cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado;
- .CFG: arquivo com as configurações para a execução do *Cropsim-Wheat*. Configurações do tipo: diretórios, módulos, arquivos e programas;
- .CTR: arquivo que contém as configurações de controle do *Cropsim-Wheat*;
- .SOM: abreviatura de *Soil Organic Matter*. Arquivo que contém os parâmetros necessários para a simulação da matéria orgânica no solo;
- .SPE: arquivo que caracteriza a espécie. Possui coeficientes que caracterizam a composição básica dos tecidos e alguns processos da planta, como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento;
- CROPSIM: arquivo binário que realiza a execução do modelo.

**Execução:** Nesta etapa é executado o arquivo binário do

simulador, o que ocorre a partir de uma linha de comando. Na integração com o AgroDB, cada arquivo .WHX é composto somente por um tratamento. O conjunto de arquivos, descritos na etapa de entrada, ficou gravado em um determinado diretório, identificado pelo código do tratamento respectivo ao banco de dados.

**Saídas:** Após a execução, o simulador gera um conjunto de arquivos, onde são armazenados os resultados da simulação. Esses arquivos possuem o formato texto e foram identificados pelas extensões .OUT, .LOG e .WHM.

## **2.6 Unified Modeling Language (UML)**

A UML é uma linguagem de especificação, visualização e construção de softwares. Possui nove tipos de diagramas, dentre os quais o diagrama de classes, que representa os elementos do sistema conectados por relacionamentos (MELO, 2002).

No projeto AgroDB, a descrição conceitual dos módulos foi feita através de diagramas de classes. Para referenciar classes pertencentes a outros módulos, foi usada a notação do subsistema. O estereótipo do subsistema indica o nome do módulo. O nome representou a identificação do nome da classe. A Figura 4 mostra um exemplo de referência a outros módulos na qual se tem o subsistema com o estereótipo *basics-localization* e a identificação *city*, ou seja, está se usando a classe *city* do módulo *basics-localization*.

## **2.7 Equipamento utilizado**

O equipamento usado para realização dos testes foi um MacBook Pro, com processador 2.4 GHz Intel Core 2 Duo, 4 GB 1067 MHz DDR3 de memória, com sistema operacional MAC OS X versão 10.6.8.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Projeto e modelagem do banco de dados

Para facilitar a integração do trabalho com outros grupos do Brasil e do exterior, a estrutura conceitual, lógica e física do AgroDB foi implementada na língua inglesa.

A versão atual foi composta por 63 tabelas, divididas nos módulos: *basics*, *cultivar*, *experiments*, *integration*, *simulation models*, *soil* e *weather*. Devido ao fato de que alguns módulos possuem funcionalidades internas distintas, dois foram subdivididos, quais sejam o *basics* e o *experiments*.

A seguir, são apresentadas e detalhadas as características de cada módulo e a sua descrição conceitual através do diagrama de classes.

**Módulo *basics*:** possui como principal funcionalidade a manutenção (inclusão, alteração e exclusão) das tabelas básicas necessárias para o funcionamento do sistema. Subdivide-se em quatro submódulos:

(i) *basics-control*: possui as classes projetadas (Figura 4) que realizam o controle dos usuários e dos programas que acessam os dados.

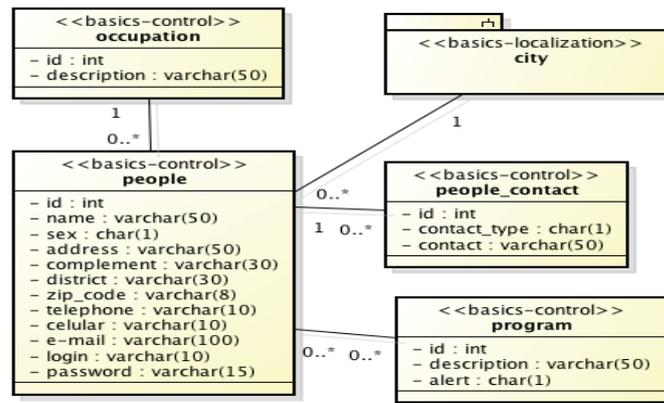


Figura 4 - Diagrama de classes submódulo *basics-control*, indicando as classes responsáveis pelo controle do sistema.

(ii) *basics-data*: contém as classes (Figura 5) que caracterizam e identificam os dados que estão armazenados, ou seja, identificam os tipos e as fontes dos dados.

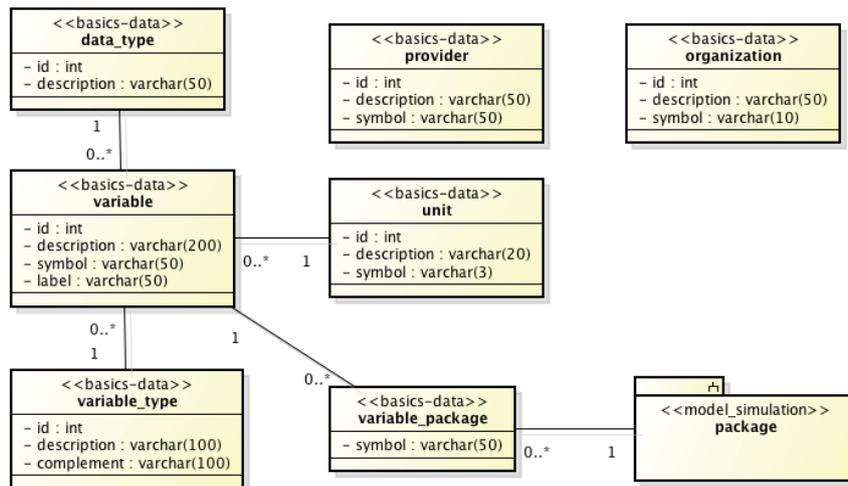


Figura 5 - Diagrama de classes submódulo *basics-data*, indicando as classes responsáveis pelos dados básicos de identificação para o funcionamento do sistema.

(iii) *basics-localization*: contém a descrição e o armazenamento dos dados referentes às localizações territoriais, conforme mostra o diagrama de classes da Figura 6.

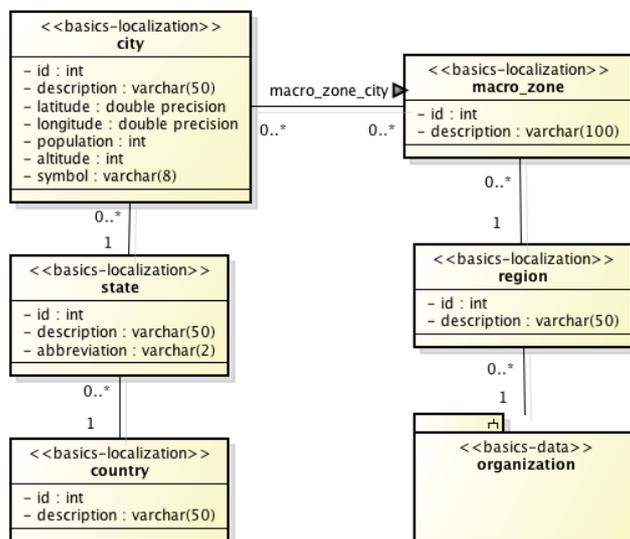


Figura 6 - Diagrama de classes submódulo *basics-localization*, indicando as classes responsáveis pelas informações das localizações territoriais.

(iv) *basics-station*: possui as classes (Figura 7) que armazenam os dados referentes às estações, ou seja, os locais onde foram coletados os dados.

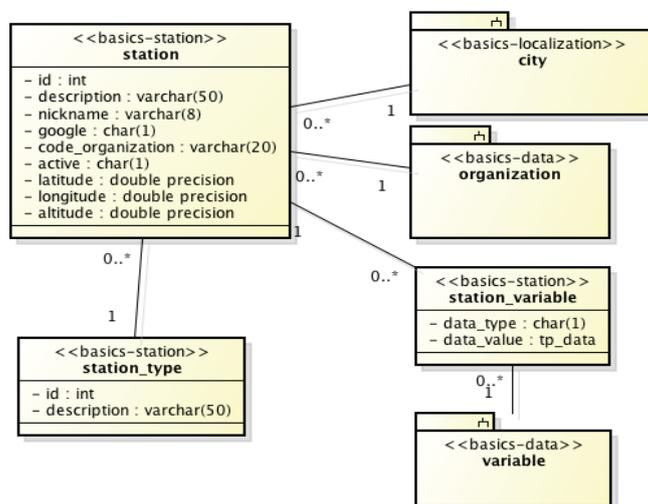


Figura 7 - Diagrama de classes submódulo *basics-station*, indicando as classes responsáveis pelos locais de fonte de dados (estações).

**Módulo *crops*:** possui como principal funcionalidade a manutenção (inclusão, alteração e exclusão) das classes (Figura 8) associadas aos dados sobre as culturas agrícolas. Isso abrange os dados dos coeficientes das cultivares, dados sobre as doenças, bem como informações acerca de como determinada cultivar é caracterizada em relação a um determinado modelo de simulação de culturas.

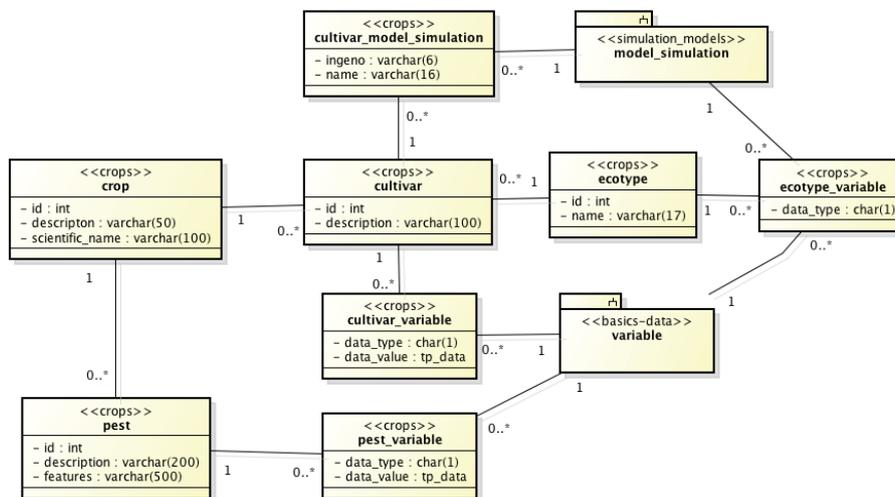


Figura 8 - Diagrama de classes módulo *crops*, indicando as classes responsáveis pelas culturas, cultivares, ecotipos agrícolas e dados associados e pelos modelos de simulação.

**Módulo *integration*:** Foi projetado com o objetivo de manter os dados associados à integração com o banco de dados. Entende-se por integração os dados de entrada para o banco de dados e os dados de saída deste. A integração é descrita conceitualmente pelo diagrama de classes da Figura 9.

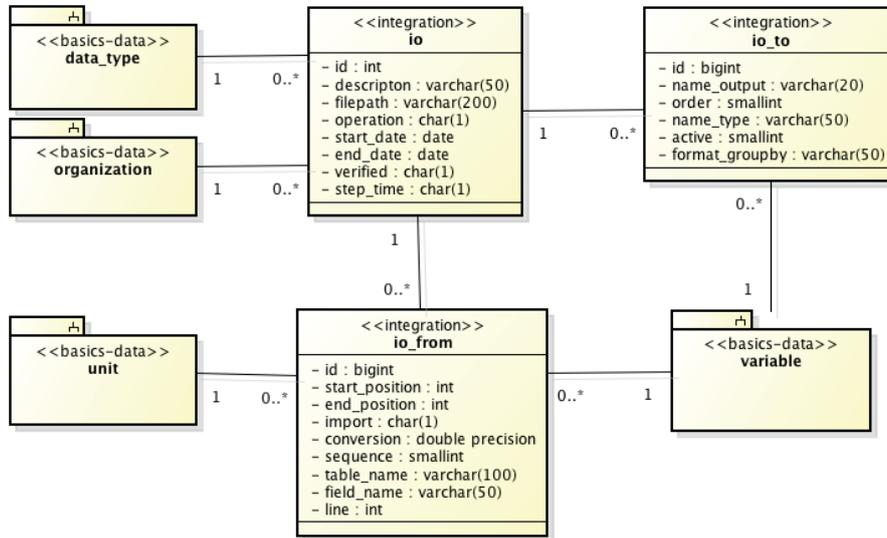


Figura 9 - Diagrama de classes módulo *integration*, indicando as classes responsáveis pela integração (formatos de importação e exportação) dos dados de entrada e de saída do banco de dados.

**Módulo *simulation-models*:** mantém os dados (Figura 10) dos modelos de simulação e do sistema ao qual pertencem. Por exemplo, o modelo *Cropsim-Wheat* e *CropGrow* pertencem ao sistema DSSAT.

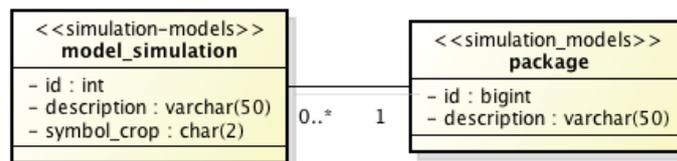


Figura 10 - Diagrama de classes módulo *simulation-models*, indicando as classes responsáveis pelos dados associados aos modelos de simulação.

**Módulo *soil*:** teve a funcionalidade de gerenciar os dados associados às características do solo (Figura 11). Mantém informações sobre as variáveis de solo, localização e fonte de fornecimento dos dados.

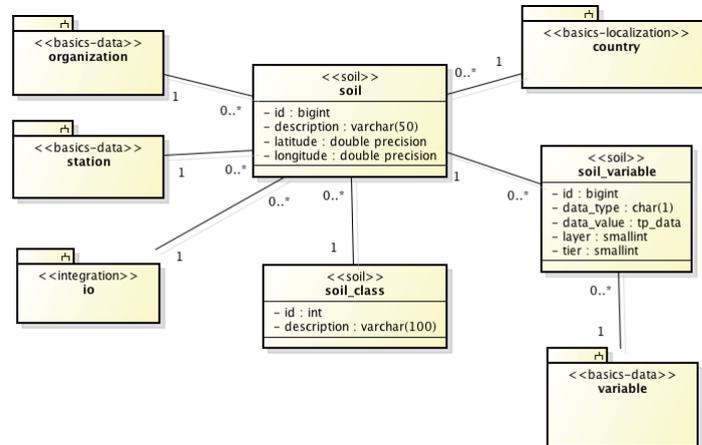


Figura 11 - Diagrama de classes módulo *soil*, indicando as classes responsáveis pelo armazenamento dos dados associados às características do solo.

**Módulo *weather*:** corresponde aos dados meteorológicos (Figura 12). Armazena informações relacionadas a dados observados e prognósticos de tempo e de clima. Em relação aos prognósticos, foi possível associar cenários, que indicam diferentes representações do clima. Também armazena dados de prognósticos e observados, associados ao acúmulo de gases na atmosfera.

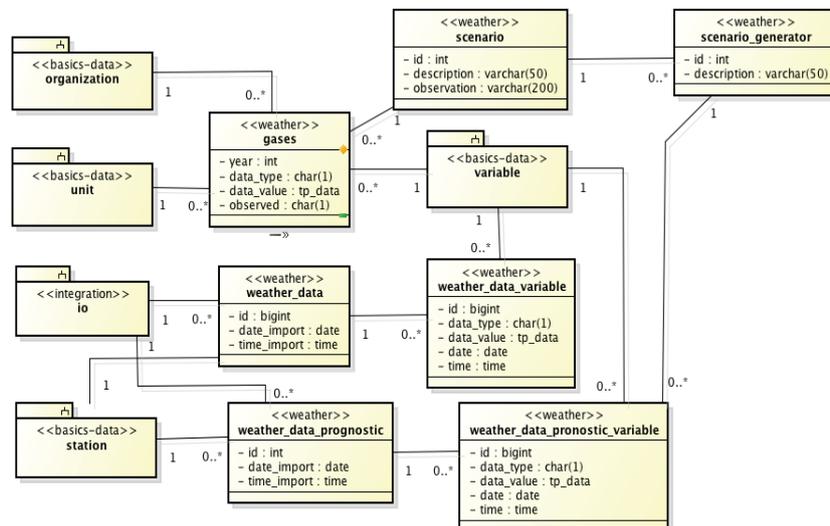


Figura 12 - Diagrama de classes módulo *weather*, indicando as classes responsáveis pelos dados de meteorológicos, observados e de prognósticos.

**Módulo experiment:** possui como principal funcionalidade manter os dados que dão o suporte à preparação, à montagem e à execução de experimentos. Subdivide-se em três submódulos, que se diferenciam em função das etapas do experimento, quais sejam: *experiments-prepare* (etapa de preparação), *experiments-execution* (etapa de execução) e *experiments-controls* (etapa pós-execução). Esses módulos são descritos a seguir:

(i) *experiments-prepare*: consiste na primeira etapa do módulo experiments. Possui as classes (Figura 13) correspondentes ao armazenamento dos dados necessários para a preparação, ou montagem, do experimento para posterior execução.

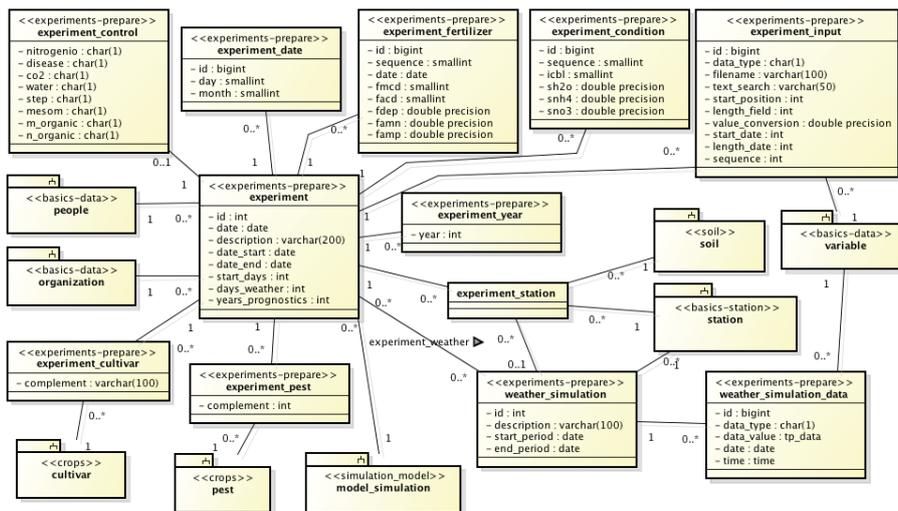


Figura 13 - Diagrama de classes submódulo *experiments-prepare*, que contém os dados necessários para a montagem dos experimentos que foi executado e aos experimentos futuros.

Nessa etapa, foram associados os dados correspondentes a dados meteorológicos; épocas de semeadura; anos para a execução do experimento; dados de solo; condições iniciais; dados de controle

sobre o modelo, tais como os relacionados ao controle de doenças e ao controle do nitrogênio ou às estações meteorológicas e cultivares.

(ii) *experiments-execution*: corresponde à segunda etapa dos experimentos. Possui as classes (Figura 14) com os dados necessários para a execução do experimento, no que se refere ao simulador e à inserção dos resultados por ele gerados no AgroDB.

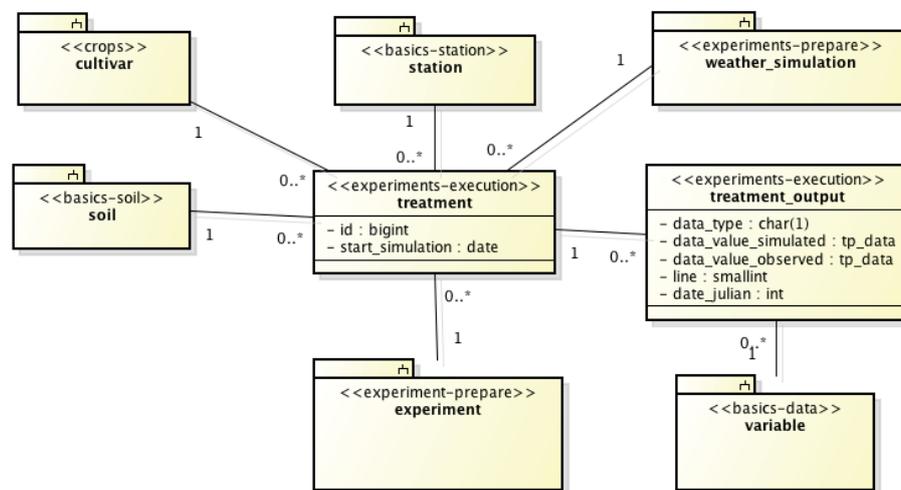


Figura 14 - Diagrama de classes submódulo *experiments-execution*, que contém os dados correspondentes à execução do experimento e de experimentos futuros.

(iii) *experiments-controls*: corresponde à terceira etapa dos experimentos, na qual foram projetadas as classes (Figura 15), oportunidade em que se trabalhou com os resultados obtidos a partir das simulações realizadas. Com códigos escritos em R, foi possível analisar os resultados obtidos com as simulações. Também, fazer uma análise cruzada com dados observados de experimentos realizados no campo. Além disso, nessa etapa foram previstas as estruturas de armazenamento de dados para sistemas de aviso, onde as pessoas envolvidas recebem alertas de ocorrência de determinadas situações, como por exemplo no caso de uma possível epidemia de doenças.

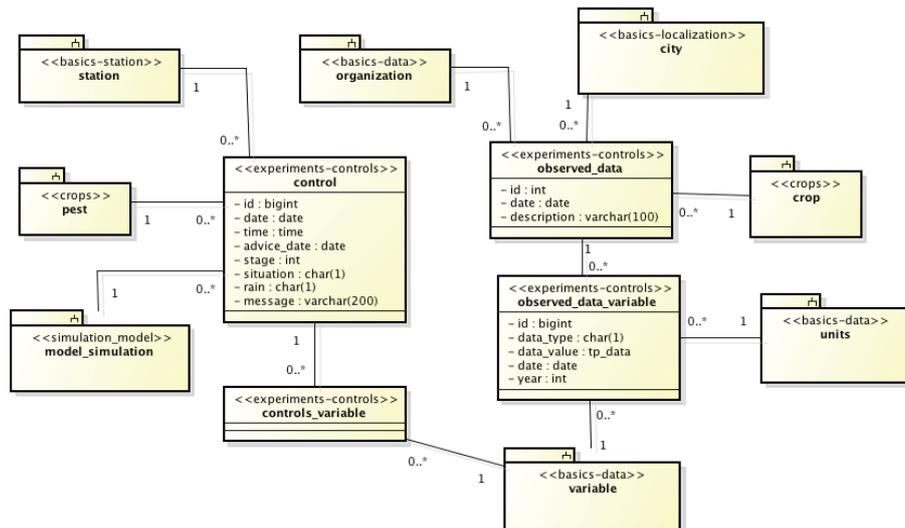


Figura 15 - Diagrama de classes submódulo *experiments-controls*, que mantém os dados resultantes das execuções dos modelos de simulação agrícolas.

### 3.2 Etapas de integração

Foram definidas quatro etapas independentes de integração, ou seja, uma não é pré-requisito da outra. Essas etapas e suas principais funcionalidades são descritas na sequência:

**1. Preparação dos dados:** envolve a preparação dos dados necessários para a montagem e execução do experimento. A atividade de preparação foi baseada na seguinte lógica:

Se (dado cadastrado no AgroDB)= 'sim' então

1. verifica consistências dos dados em relação a falhas e erros
2. utiliza os dados

senão

1. executa operações de integração (importação dos dados para o AgroDB) ou cadastramento manual de dados
2. utiliza os dados

Essa etapa respalda o objetivo do AgroDB como sendo um repositório de dados, pois os dados devem estar, primeiramente, armazenados em suas estruturas para só então poderem ser usados na integração com o modelo de simulação.

**2. Preparação do experimento:** nesta etapa foram cadastrados os experimentos, seus parâmetros (controle de doença, cálculo da matéria orgânica, controle hídrico), condições iniciais do experimento, adubação e os fatores avaliados no experimento. Após, foi executado um conjunto de funções escritas em *PL/PgSQL* e *PL/R* e operações de manipulação de dados escritas em *SQL*, para gerar os tratamentos, a estrutura de dados e arquivos necessários, para a executar o modelo de simulação.

**3. Execução:** Através das funções de integração, primeiramente, foi feita a execução do modelo de simulação de culturas, após, foi realizada a importação dos resultados dos arquivos de saída do modelo de simulação para as respectivas estruturas no AgroDB.

**4. Visualização:** foram manipulados os dados obtidos a partir da execução do simulador. A visualização foi feita usando consultas *SQL*, através de funções *PL/R*, códigos *R* e funções geográficas do banco de dados.

No AgroDB foram projetadas e implementadas tabelas que correspondem ao armazenamento dos dados necessários para a montagem e a execução dos experimentos dos estudos de caso. Para esta última, foram inseridos dados nas tabelas mencionadas. A Tabela 1 mostra as tabelas e as suas respectivas funcionalidades.

Tabela 1 - Tabelas necessárias para a montagem e execução dos experimentos, e as suas respectivas funcionalidades.

<b>Tabela</b>	<b>Funcionalidade</b>
experiment	Contém a descrição do experimento.
experiment_condition	São informadas as condições iniciais do solo. As condições, por camada, são: água disponível, quantidade de amônio e nitrato.
experiment_control	São cadastrados os parâmetros de controle do experimento, que são os controles de: nitrogênio, doença, água, passo de saída dos resultados, CO <sub>2</sub> , método de cálculo da matéria orgânica e quantidade de matéria orgânica inicial.
experiment_cultivar	Contém os dados das cultivares do experimento.
experiment_date	Contém as informações das datas de semeadura do experimento.
experiment_fertilizer	São cadastradas as condições de adubação de base e cobertura, quais sejam: a data da aplicação, a quantidade de nitrogênio e a quantidade de fósforo.
experiment_station	Contém as localidades (estações), o solo e os dados meteorológicos do experimento.
experiment_year	Armazena a informação acerca dos anos em que o experimento foi executado.
experiment_input	Contém a descrição da importação dos resultados da execução do modelo de simulação.
experiment_pest	Contém os dados da doença associados ao experimento.
experiment_weather	Contém dados meteorológicos. Usada para testar diferentes conjuntos de dados para um mesmo local (cenários climáticos).

### 3.3 Estudo de caso

O modelo de simulação de culturas usado foi o *Cropsim-Wheat*. Para avaliar a integração desse modelo com o AgroDB foi

realizado um estudo de caso, onde avaliou-se o rendimento de grãos gerado pelo modelo para seis localidades do estado do Paraná/Brasil. Foram usados trinta anos de dados meteorológicos observados, no período compreendido entre 1980 a 2009, com dados fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Foram usadas dez épocas de semeadura distribuídas no período estabelecido pelo zoneamento agrícola do trigo no Brasil (CUNHA *et al.*, 2001). Os dados de solo também foram fornecidos pelo IAPAR. A cultivar de trigo utilizada foi a BR-23.

Geralmente, cada localidade a ser simulada corresponde a um experimento no AgroDB, no entanto, se as localidades possuem as mesmas datas de semeadura elas podem ser agrupadas no mesmo experimento.

Dessa forma, para cada experimento foi gerado um fatorial de trezentos tratamentos, ou seja: 1 localidade \* um conjunto de dados de solo \* dez épocas de semeadura \* trinta anos \* um conjunto de dados meteorológicos de trinta anos (1980 a 2009).

O processo de integração do AgroDB com o modelo de simulação *CropSim-Wheat* é semelhante para todos os experimentos. Para exemplificar o processo, a seguir é mostrado o experimento correspondente à localidade de Cascavel.

Inicialmente efetuou-se o cadastro do experimento (Figura 16). A figura foi dividida para melhorar a visualização. A tabela *experiment* foi a responsável por armazenar os dados dos experimentos. No exemplo, o código (id) 6 representa o experimento da localidade de Cascavel.

Cabe salientar que o campo *start\_days* indica o número de dias anterior à data de semeadura que iniciou a simulação do experimento pelo simulador do *Cropsim-Wheat*.

id bigint	description character varying(200)	date date	person integer	organization integer	date_start date
6	Tese 02 - Cascavel Baselines	2012-09-21	204	15	1980-01-01

date_end date	model_simulation integer	start_days integer	days_weather integer	years_prognostics integer
2009-12-31	2	40	0	0

Figura 16 - Exemplo de cadastramento de um experimento na tabela *experiment* no banco de dados AgroDB.

O campo *days\_weather* foi usado para determinar o número de dias, anterior e posterior à data de semeadura, que corresponde ao intervalo dos dados meteorológicos. Se o valor é zero, indica que foram usados todos os dados meteorológicos do conjunto, ou seja, sem delimitação de intervalo de datas.

O campo *years\_prognostics* foi usado quando trabalhou-se com dados meteorológicos de prognósticos. Indica o número de anos adicionado nas datas. Por exemplo, se for informado o valor noventa, a data 1980-01-01 corresponderá a 2070-01-01. Essa abordagem foi usada em cenários com mudanças climáticas, pois alguns modelos não geram dados meteorológicos com datas futuras.

Após, foi cadastrada a informação da cultivar associada ao experimento (Figura 17). A tabela responsável por manter esses dados, no AgroDB, foi *experiment\_cultivar*. No caso, a cultivar de trigo BR-23 foi cadastrada no AgroDB com o código oito.

<b>experiment bigint</b>	<b>cultivar integer</b>	<b>complement character varying(100)</b>
6	8	

Figura 17 - Exemplo de cadastramento da cultivar e a sua associação ao respectivo experimento, tabela *experiment\_cultivar*, no AgroDB.

O próximo passo foi informar as datas de semeadura usadas no experimento. Esses dados foram cadastrados na tabela *experiment\_date* (Figura 18).

<b>id bigint</b>	<b>experiment bigint</b>	<b>day smallint</b>	<b>month smallint</b>
17	6	11	5
18	6	14	5
19	6	17	5
20	6	20	5
21	6	23	5
22	6	26	5
23	6	29	5
24	6	2	6
25	6	5	6
26	6	8	6

Figura 18 - Exemplo de cadastramento das datas de semeadura, para o respectivo experimento, na tabela *experiment\_date* do AgroDB.

Em seguida, associaram-se ao experimento os dados da localidade (estação), o identificador dos dados de solo e o identificador do conjunto de dados meteorológicos (Figura 19), função que compete à tabela *experiment\_station*. Cabe salientar que esses conjuntos de dados (solo e meteorológicos) foram definidos na etapa de preparação dos dados.

station integer	experiment bigint	soil bigint	weather_simulation bigint
341	6	3445	44

Figura 19 - Exemplo de cadastramento da localidade, os dados de solo e os dados meteorológicos, para o respectivo experimento, na tabela *experiment\_station*.

Em seguida, foi realizado o cadastramento dos anos em que o experimento foi executado (Figura 20). Esses dados foram armazenados na tabela *experiment\_year*.

experiment bigint	year smallint	experiment bigint	year smallint
6	1980	6	1995
6	1981	6	1996
6	1982	6	1997
6	1983	6	1998
6	1984	6	1999
6	1985	6	2000
6	1986	6	2001
6	1987	6	2002
6	1988	6	2003
6	1989	6	2004
6	1990	6	2005
6	1991	6	2006
6	1992	6	2007
6	1993	6	2008
6	1994	6	2009

Figura 20 - Exemplo de cadastramento dos anos em que o experimento será executado na tabela *experiment\_year*.

Também, foram associados ao experimento os dados que indicam como foi feita a importação dos resultados gerados pelo simulador (Figura 21). A tabela *experiment\_input* foi criada com esse objetivo.

id integer	experiment bigint	variable integer	data_type character(1)	filename character varying(100)	text_search character varying(50)	start_position integer	length_field integer	value_conversion double precision
7	6	573	3	OVERVIEW.OUT	%Grain w%	38	8	1.12
8	6	1332	3	OVERVIEW.OUT	%Head_Emerge%	1	8	1

Figura 21 - Exemplo de cadastramento dos resultados desejados, a partir dos arquivos gerados pelo simulador, cadastrados na tabela *experiment\_input*.

Para cadastrar os dados na tabela *experiment\_input*, foi necessário ter previamente cadastradas no AgroDB as variáveis desejadas na importação, conforme mostra o campo *variable* na Figura 21.

Também, para realizar a importação, deve-se ter conhecimento do nome e da estrutura do arquivo gerado pelo modelo de simulação, conforme mostram os campos *filename* e *text\_search* na Figura 21.

O campo *value\_conversion* foi usado para estabelecer um valor de conversão do dado importado. Por exemplo, no caso do *Cropsim-Wheat*, o valor do rendimento de grãos não está ajustado à umidade do grão. Nesse caso, estabeleceu-se o valor de umidade no campo *value\_conversion* e quando o dado foi importado ocorreu a correção do valor do rendimento de grãos.

Foi possível estabelecer os parâmetros de controle da simulação. Esses dados são gerenciados pela tabela *experiment\_control*. Dentre os parâmetros, configurou-se a existência de doença (disease), o controle do consumo de nitrogênio e CO<sub>2</sub>, o uso da água, a frequência de saída dos resultados do modelo, o tipo de cálculo usado para a matéria orgânica (mesom) e os resíduos de matéria orgânica (m\_organic) e nitrogênio (n\_organic), conforme mostra a Figura 22. No caso do *cropsim-wheat*, esses parâmetros são armazenados no arquivo de configuração .WHX.

experiment [PK] bigint	nitrogenio character(1)	disease character(1)	co2 character(1)	water character(1)	step character(1)	mesom character(1)	m_organic double precis	n_organic double precis
6	Y	N	M	Y	1	G	3000	0.53

Figura 22 - Exemplo de cadastramento dos parâmetros de controle do modelo de simulação para o respectivo experimento, na tabela *experiment\_control*.

Também foi possível estabelecer as condições iniciais do solo para o momento do início da simulação. São, para cada camada de solo, estabelecidos os valores de água no solo, amônio e nitrato (Figura 23). Esses valores foram inseridos na tabela *experiment\_condition*.

id bigint	experiment bigint	sequence smallint	icbl smallint	sh2o double precision	snh4 double precision	sno3 double precision
11	6	1	10	0.41	6.8	19.6
12	6	2	20	0.34	6.4	14.6
13	6	3	40	0.184	5	10.2
14	6	4	70	0.13	4.4	9.4
15	6	5	100	0.122	5.4	8.6

Figura 23 - Exemplo de cadastramento das condições iniciais do solo, para o experimento, na tabela *experiment\_condition*.

Por fim, cadastrou-se para o experimento o uso de fertilizantes, nitrogênio e fósforo. Foi possível especificar a adubação usada na base, e depois a adubação de cobertura (Figura 24). As datas foram calculadas a partir do número de dias, informado no campo "date", adicionados à data de semeadura do respectivo tratamento.

id bigint	experiment bigint	sequence smallint	fmcd smallint	facd smallint	fdep double precision	famn double precision	famp double precision	date smallint
5	6	1	1	-99	5	20	100	0
6	6	1	1	-99	1	80	-99	56

Figura 24 - Exemplo de cadastramentos dos fertilizantes, base e cobertura, na tabela *experiment\_fertilizer*.

O próximo passo foi realizar a execução das funções que finalizaram a preparação do experimento, executaram o modelo de

simulação de cultura e realizaram a importação dos dados gerados para a estrutura do AgroDB.

Na Tabela 2 é mostrado o conjunto de funções e seus respectivos parâmetros, implementadas no AgroDB. Além disso, descreve a funcionalidade, a linguagem de programação usada na implementação e a ordem de execução.

Tabela 2 - Funções de integração, funcionalidades, linguagem implementada e a ordem de execução no AgroDB.

<b>Nome</b>	<b>Funcionalidade</b>	<b>Linguagem</b>	<b>Ordem</b>
generate_treatment(experimento)	Executa o fatorial do experimento. Cada fator torna-se um tratamento.	PL/pgSQL	1
create_directories(caminho, experimento)	Gera a estrutura de diretórios para a execução dos experimentos.	PL/pgSQL e PL/R	2
create_files_model(caminho, experimento)	Copia os arquivos estáticos do modelo de simulação para o respectivo diretório do tratamento.	PL/pgSQL e PL/R	3
create_experiment_soil(caminho, experimento, formato)	Gera, no formato especificado, os arquivos de solo para os respectivos tratamentos.	PL/pgSQL e PL/R	3
create_experiment_X (caminho, experimento)	Gera os arquivos WHX do CropSim-Wheat.	PL/pgSQL	3

<code>create_experiment_cultivar(caminho, experimento, formato)</code>	Gera, no formato especificado, os arquivos de cultivares para os tratamentos.	PL/pgSQL	3
<code>create_experiment_ecotype(caminho, experimento, formato)</code>	Gera, no formato especificado, os arquivos com os dados do ecotipo para cada tratamento.	PL/pgSQL	3
<code>create_experiment_weather(caminho, experimento, formato, gas, cenario_gas, tratamento_inicial, tratamento_final)</code>	Gera os arquivos de dados meteorológicos, no formato especificado, para os tratamentos.	PL/pgSQL e PL/R	3
<code>execute_cropsim_treatment(caminho, experimento)</code>	Executa o modelo CropSim-Wheat para cada tratamento.	PL/pgSQL e PL/R	4
<code>import_results(caminho, experimento)</code>	Importa para o AgroDB as saídas geradas pelo simulador.	PL/pgSQL	5

Todas as funções são parametrizadas, sendo que algumas realizam chamadas a outras funções. Isso explica o fato de usar mais de uma linguagem. Por exemplo, a função `create_directories()`. É uma função feita na linguagem *PL/pgSQL* que percorreu os tratamentos do experimento e chamou uma função escrita em *PL/R*, que gerou os diretórios do experimento e de seus respectivos tratamentos.

Foi utilizada a função `crostab` do módulo `tablefunc` do PostgreSQL. Este módulo disponibiliza várias funções de manipulação de tabelas. A função `crostab` possibilita uma transposição dos dados

baseado em uma coluna *pivot* (POSTGRESQL, 2012). Esse recurso foi usado internamente em algumas funções para fazer a passagem dos dados de uma estrutura vertical para uma estrutura horizontal.

As funções que possuem o mesmo número de ordem indicam que estão no mesmo nível de execução, não importando qual foi executada primeiramente.

Na visualização dos resultados, como valor simulado, foi usado o melhor rendimento de grãos dentre as épocas de semeadura. Esse resultado foi comparado com dados observados de rendimento dos anos de 1990 a 2009, para as respectivas localidades, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nos dados observados foi agregado o valor 61,95 da tendência tecnológica, determinado pelo código R descrito abaixo:

```
TechTrend<-lm(obs~year)
coef(TechTrend)[2]
summary(TechTrend)
z<-sort(seq(1990:2009),decreasing=T)*coef(TechTrend)[2]+0.001
RWYC<- obs+z
```

Efetou-se a comparação dos dados de rendimento de grãos simulados com os dados de rendimento de grãos observados (armazenados na tabela *observed\_data*). Primeiramente, através de um comando SQL, foi realizada a associação entre os dados (observados e simulados) com os respectivos tratamentos. Posteriormente, foi executado um código R com conexão ao banco de dados que gerou o gráfico comparativo dos rendimentos de grãos (Figura 25).

Não se tem, neste capítulo, o objetivo de analisar os dados, mas de demonstrar como estes foram visualizados. Além do uso da linguagem R fazendo a conexão com o banco de dados, os

dados também puderam ser visualizados de outras formas, como em comandos de consultas SQL e através de *PLs* usando a linguagem R.

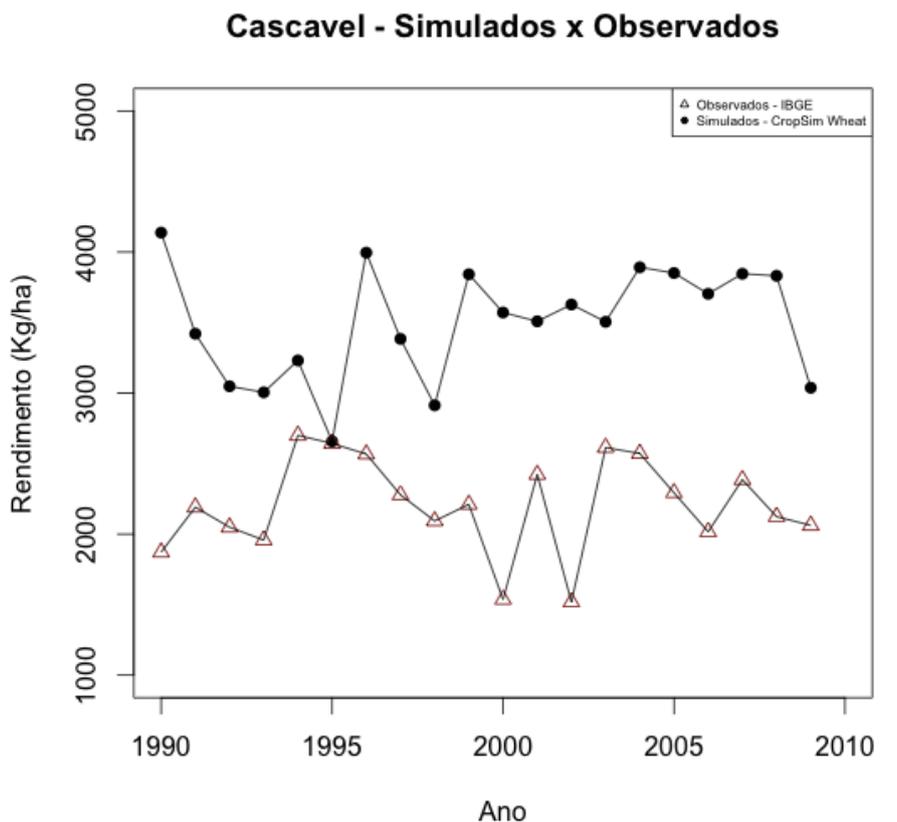


Figura 25 - Gráfico comparativo dos rendimentos de grãos dos valores simulados e observados para os anos de 1990 a 2009, cultivar de trigo BR-23, para a localidade de Cascavel.

#### 4 DISCUSSÃO

A integração do AgroDB com modelos de simulação de culturas permitiu dois tipos de preparação e execução de experimentos: estática e dinâmica. A primeira foi usada quando já se tinha todos os dados de entrada, gravados em arquivos, no formato

específico do simulador. Assim, o AgroDB foi usado para a execução do simulador, a importação e a visualização dos resultados. Já na segunda, a execução dinâmica, os dados de entrada para o simulador foram gerados a partir dos dados existentes no banco de dados (etapa de preparação dos dados) e posteriormente foi realizada a integração (execução e importação das simulações) com o simulador, neste caso, seguindo as quatro etapas de integração.

Geralmente, experimentos que trabalham com grandes quantidades de dados tornam-se complexos de serem manipulados de maneiras convencionais, dentre os quais figuram as planilhas eletrônicas e os arquivos texto. Nesse contexto, o AgroDB pode ser caracterizado como uma importante ferramenta para usuários que desejam trabalhar com simulações de crescimento de plantas, que envolvem uma grande quantidade de dados e formatos. Um exemplo da grande quantidade de dados armazenados é a tabela *weather\_data\_variable*, que consiste em um repositório de dados meteorológicos observados e, que possui 26.064.600 registros, conforme mostra a Figura 26. Sem os recursos tecnológicos apropriados, seria impossível trabalhar com tais dados.

Property	Value
Name	weather_data_variable
OID	16727
Owner	postgres
Tablespace	pg_default
ACL	
Of type	
Primary key	id
Rows (estimated)	26064600

Figura 26 - Propriedades tabela *weather\_data\_variable*, demonstrando a quantidade de registros armazenados.

Quando se trabalha com grandes quantidades de dados pode ocorrer o problema de o desempenho do banco de dados não ser satisfatório, no entanto, esse problema foi minimizado com a criação de índices. Verificou-se que, quando não existia um índice associado ao campo definido no critério da consulta, no caso a data, o tempo de execução da consulta foi de 78476 ms (milisegundos) e, com o índice, o tempo de execução foi de 342 ms (milisegundos). No caso, o tempo de execução da consulta usando índice representa 0,4% do tempo de execução da consulta sem índice. Não se aconselha o uso de índices de forma aleatória, pois existe um custo de manutenção (tempo e espaço de armazenamento) ao criá-los (DATE, 2004). No projeto do AgroDB, a criação dos índices usados foi associada aos campos que fazem parte dos critérios das principais consultas SQL executadas.

Na etapa de preparação dos dados, para a execução do modelo de simulação, alguns aspectos tornaram-se salientes. Através do módulo *integration* foi possível identificar os dados que foram armazenados no AgroDB, que diziam respeito à organização que forneceu os dados e à sua classificação. Por exemplo, foi possível saber se tratava-se de um dado meteorológico, um dado de solo ou outro tipo de dado. Tais dados foram armazenados na tabela *io*. Também, foi possível armazenar informações que identificam quais as variáveis fornecidas e as suas respectivas unidades. Isso foi armazenado na tabela *io\_from*.

Outro aspecto importante foi a descrição de como os dados devem ser fornecidos para o simulador. Para exemplificar essa situação: o modelo *cropsim-wheat* necessita as variáveis meteorológicas: radiação solar, temperatura máxima do ar,

temperatura mínima do ar e precipitação pluvial. Foi possível especificar a ordem que os dados são fornecidos ao simulador e seu formato, através das informações gravadas na tabela *io\_to*. Portanto, o uso do AgroDB possibilitou o conhecimento dos dados armazenados e de como eles devem ser manipulados, facilitando o processo de integração com o modelo de simulação.

Na preparação dos dados para os experimentos, o uso da linguagem SQL foi um fator importante para a manipulação dos dados. Uma aplicação foi a seleção dos dados meteorológicos, a partir do repositório, gerando um novo conjunto de dados usado no experimento. Para isso, cadastrou-se um código na tabela *weather\_simulation* e associaram-se os dados meteorológicos selecionados pela consulta SQL, que insere dados na tabela *weather\_simulation\_data*. Esse tipo de procedimento é vantajoso, pois permite trabalhar com a parcela de dados de real interesse. Também possibilitou que esses mesmos dados já estejam preparados para uso futuro.

Outro aspecto interessante foi o uso de tecnologias geográficas através da extensão POSTGIS, que permite operações espaciais sobre os dados. Um exemplo de aplicação com características espaciais refere-se à seleção dos dados de solo. As características do solo variam conforme a sua localização. Para executar um determinado experimento, foi necessário associar espacialmente o solo com a localização da estação meteorológica.

Nesse sentido, foi utilizada uma função espacial denominada *ST\_distance* (Figura 27), que teve a finalidade de calcular a distância entre duas coordenadas (longitude e latitude). No

exemplo, foram passadas duas coordenadas, 48.25 de longitude e 18.91 de latitude. Essas coordenadas foram comparadas com as existentes na tabela *soil* através de um comando de consulta (SELECT) da SQL.

```
select id, description, longitude, latitude,
ST_distance('POINT(' || cast(-48.25 as text) || ' ' || cast(-
18.91 as text) || ')', 'POINT(' || cast(longitude as text) || '
' || cast(latitude as text) || ')') as distancia
from soil order by distancia
```

Figura 27 - Exemplo de função espacial do PostGis que busca a localização mais próxima de uma coordenada geográfica (longitude e latitude) passadas como parâmetros.

Como resultado da consulta (Figura 28), teve-se o código do solo, sua descrição, suas coordenadas, latitude e longitude, e o valor da distância entre as coordenadas. O resultado foi ordenado de forma crescente pelo valor da distância, indicando que o solo de código 3363 foi o ponto mais próximo das coordenadas de referência da pesquisa.

id bigint	description character varying(200)	longitude double precision	latitude double precision	distancia double precision
3363	WI_ARBR091 WISE	-48.165	-19.154	0.258381500885803
142	WI_CMBR104 WISE	-49.133	-18.667	0.915826402764194
3391	WI_LXBR105 WISE	-49.183	-18.433	1.04786354073419
3374	WI_FRBR092 WISE	-48.688	-19.954	1.13215723289656
120	WI_FRBR051 WISE	-47.783	-20.15	1.3250241507233
1545	WI_CMBR101 WISE	-47.433	-20.383	1.6844043457555
2438	WI_CMBR100 WISE	-47.367	-20.533	1.84765202351525

Figura 28 - Resultado da consulta espacial mostrando qual localidade possui a distância mais próxima das coordenadas (latitude e longitude) desejadas passadas por parâmetros.

Em relação à preparação do experimento, um dos pontos importantes foi a definição da estrutura para a execução do modelo de simulação de culturas. Optou-se por criar uma estrutura de diretórios (Figura 29).

▼ 6	28/09/2012 15:45
▼ 17577	Hoje, 15:52
00017577.WHM	10/10/2012 09:33
00017577.WHX	10/10/2012 09:08
00017577.WTH	10/10/2012 09:09
cropsim	21/09/2012 16:30
CROPSIM.CFG	21/09/2012 16:30
CROPSIM.CTR	21/09/2012 16:30
csnr060.som	21/09/2012 16:30
SOIL.SOL	24/09/2012 00:32
WHCRP060.CUL	24/09/2012 00:30
WHCRP060.ECO	24/09/2012 00:32
WHCRP060.SPE	21/09/2012 16:30
▶ 17578	10/10/2012 09:33
▶ 17579	10/10/2012 09:33
▶ 17580	10/10/2012 09:33
▶ 17581	10/10/2012 09:33

Figura 29 - Estrutura de diretórios criada pelas funções de integração usada para execução do simulador.

O nome do diretório principal 6 corresponde ao código que identifica o experimento na tabela *experiment*. Cada subdiretório (17577, 17578, 17579, 17580, 17581, ...) indica um tratamento do experimento, referenciado pelo seu código da tabela *treatment* do AgroDB. Em cada diretório de tratamento foram armazenados os arquivos necessários para a execução do simulador e, também, os arquivos de resultados gerados pela execução. As principais contribuições da estrutura de execução adotada foram:

- a) execução individual de cada tratamento;

- b) associação com os códigos identificadores das respectivas tabelas do AgroDB;
- c) possibilidade de paralelização da execução do simulador;
- d) facilidade de distribuição dos dados.

Devido ao formato da estrutura de execução adotado, foi possível realizar, nas funções que geram os dados meteorológicos e solo, uma otimização do código de implementação das funções. A otimização foi feita nessas duas funções, fato justificado em razão de que estas eram as que manipulavam uma maior quantidade de dados e um maior tempo de execução. A lógica básica da otimização consistiu em gerar os tratamentos de forma ordenada, de maneira que foi possível identificar quando os dados meteorológicos e o solo se repetem para tratamentos em sequência. Caso a sentença seja verdadeira, era realizada uma cópia do arquivo gerado anteriormente para o tratamento atual, caso contrário, executava-se a função que gerava o arquivo novamente.

Essa otimização trouxe considerável diminuição no tempo de preparação dos experimentos. Para gerar um arquivo com dados de meteorológicos, o tempo de execução era, em média, 35.000ms (milisegundos). Enquanto a cópia é feita, tem-se um tempo médio de 600 ms (milisegundos).

A utilização do AgroDB integrado com o modelo *Cropsim-Wheat* possibilitou a realização de simulações de forma rápida. Tendo o estudo de caso como exemplo, o tempo total de execução do experimento foi de: 205.265 ms, ou 3,42 minutos (Tabela 3).

Em estudos de mudanças do clima, os dados meteorológicos foram considerados fatores do experimento. Nesse caso, a função de geração de clima (*create\_experiment\_weather*) foi executada para cada tratamento. Num experimento com 4.800 tratamentos obteve-se um tempo, para a geração dos arquivos de clima (4.800), de: 101.291 ms ou 1.68 minutos. As outras funções de integração também foram executadas, para esse mesmo experimento, e não apresentaram uma diferença de processamento em relação aos experimentos que não consideram o fator clima. Em casos que existam muitos tratamentos a serem simulados, e que a resposta na execução das funções de integração não estejam adequadas, sugere-se o uso de processamentos paralelo e distribuído. Até o momento, não foram encontrados estudos relacionados à performance de aplicações integradas com modelos de simulação de culturas. Portanto, não foi possível realizar análises comparativas.

Tabela 3 - Funções de integração e tempos de execução rodados para o experimento do estudo de caso na localidade de Cascavel.

<b>Função de integração</b>	<b>Tempo de execução (ms)</b>
<i>generate_treatment()</i>	1.000
<i>create_directories()</i>	1.466
<i>create_files_model()</i>	15.163
<i>create_experiment_soil()</i>	3.634
<i>create_experiment_X ()</i>	1.297
<i>create_experiment_cultivar()</i>	994
<i>create_experiment_ecotype()</i>	1.064
<i>create_experiment_weather()</i>	42.275
<i>execute_cropsim_treatment()</i>	137.526
<i>import_results()</i>	846

Também é possível de adicionar novas funcionalidades ao projeto AgroDB. Como exemplo pode-se citar a elaboração de

experimentos com diferentes tratamentos de solo e compará-los. Isso é possível adicionando novos módulos ao projeto. Outra possibilidade é de implementar novas funções de integração com outros modelos de simulação de culturas, caracterizando a generalidade do AgroDB.

O modelo de simulação de culturas *Cropsim-Wheat* foi utilizado para a implementação do estudo de caso da integração. Para que a integração possa ser realizada, deve-se seguir quatro etapas: (i) preparação dos dados; (ii) preparação do experimento; (iii) execução; (iv) visualização. Dentre as etapas, pode-se constatar que a mais onerosa, em tempo, foi a etapa de preparação dos dados. Pois se faz necessário realizar um pré-processamento dos dados, com o objetivo de armazená-los em suas respectivas estruturas para o posterior uso. No caso de os dados já estarem no AgroDB, o processo de preparação é facilitado, pois através da linguagem de manipulação é possível fazer a seleção dos dados necessários e usá-los integrados com os simuladores.

Entretanto, o projeto AgroDB pode ser implementado em qualquer outro SGBD, desde que este tenha suporte para aspectos objeto-relacionais. Sobre o tema, há que se destacar que dois fatores importantes implicaram a escolha do *PostgreSQL*. O primeiro diz respeito à possibilidade de trabalhar com dados geográficos através da extensão denominada *PostGIS* e o segundo é a integração com linguagens possibilitando a implementação de códigos usando PLs (*Procedural Languages*). Um exemplo foi o uso da linguagem R, que pode ser incorporada através da PL/R.

## 5 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta o projeto e o uso do banco de dados AgroDB, que consiste em uma ferramenta de suporte para a integração com modelos de simulação de culturas.

Com o seu uso, é possível gerenciar dados de entrada e dados resultantes de simulações. Também suporta o trabalho com grandes quantidades de dados de maneira simples e rápida. Além disso, através de um conjunto de funções de integração, permite a execução de modelos de simulação de culturas.

O AgroDB foi projetado e desenvolvido de forma genérica, de maneira que novas funcionalidades podem ser adaptadas. É compatível com tecnologias que facilitam o trabalho de obtenção de resultados a partir de simulações realizadas, diminuindo o tempo de processamento e dando suporte para análises.

## CAPÍTULO II

### CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO CROPSIM- WHEAT PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Alexandre Tagliari Lazzaretti

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

Universidade de Passo Fundo

C.P. 611, 99001-970

**RESUMO** - Esse trabalho tem como objetivo realizar a calibração e a avaliação do modelo *Cropsim-Wheat* em relação ao desenvolvimento fenológico e ao rendimento de grãos para um grupo de cultivares de trigo indicadas para cultivo na Região Sul do Brasil, permitindo assim identificar o funcionamento do modelo e testar hipóteses com menor margem de erros. Para a realização da calibração e avaliação foram usados os dados de dois experimentos de campo executados nos anos de 2010 e 2011. Além do rendimento de grãos, foram usadas as variáveis de fenologia da planta, data do duplo anel, data da espiguetta terminal, data da antese e maturação fisiológica. Foram simulados experimentos usando o modelo *Cropsim-Wheat* para com as mesmas configurações dos experimentos de campo e avaliados os resultados obtidos através de uma validação cruzada com os dados obtidos no

campo. Após identificou-se a ajustou-se os coeficientes das variáveis do modelo, de forma que pudesse representar de forma mais realista o que havia ocorrido nos experimentos de campo. Através dos ajustes realizados nos parâmetros do modelo *Cropsim-Wheat*, obteve-se resultados simulados aproximados aos resultados observados.

**Palavras-chave:** AgroDB, DSSAT, fenologia, rendimento.

**CALIBRATION AND EVALUATION OF THE CROP MODEL  
CROPSIM-WHEAT AND DEVELOPMENT OF WHEAT IN  
SOUTHERN BRAZIL**

**ABSTRACT** - This study aims to perform the calibration and evaluation of crop model Cropsim-Wheat in relation to phenological development and yield for a group of wheat cultivars suitable for cultivation in southern of Brazil. Allowing identify the operation of the model, and making it possible to test hypotheses with a smaller margin of error. To perform the calibration and evaluation were used data from two field experiments performed in the years 2010 and 2011. Besides yield variables were used plant phenology, date of the double ring, date of terminal spikelet, date of anthesis and date of physiological maturity. Experiments were simulated using the crop model Cropsim-Wheat for the same set of field experiments and the results evaluated using a cross-validation with data obtained in the field. After identified to set the coefficients of the model variables, so that he could represent more realistically what had happened in the field experiments. It can be seen that through the calibration performed on the model parameters Cropsim-Wheat was obtained data results simulated to approximate with data results observed.

**Keywords:** AgroDB, DSSAT, phenology, yield.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*), entre as culturas de grãos existentes, destaca-se como um alimento importante para a humanidade, sendo cultivado em várias partes do mundo. Por isso, o trigo possui relevância econômica e social. No Brasil, a maior parte do cultivo do trigo localiza-se na Região Sul, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O rendimento de grãos do trigo é muito variável, sendo afetado por diversos fatores, dentre eles, as condições do solo, dados meteorológicos e do manejo da cultura.

A previsão de riscos e benefícios decorrentes das práticas de manejo aplicadas ao sistema agrícola, em especial aquela que visa à minimização do impacto dos problemas fitossanitários e que também resulta na previsão do rendimento de grãos das culturas, tem sido demanda constante do setor do agronegócio. A geração de informações, de base racional, para orientar tomadas de decisão no processo produtivo, é papel da pesquisa com enfoque sistêmico, onde o conhecimento detalhado sobre alternativas de manejo e de seus efeitos positivos e limitações assume papel fundamental. Em muitos casos, a informação quantitativa sobre a produção da cultura é possível de ser realizada através de modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento (BANNAYAN et al., 2003; BOOTE et al., 1996; CALVERO & TENG, 1997; GRAVES et al., 2002; HAYMAN & EASDOWN, 2002; THORNTHON & WILKENS, 1998).

Os modelos de simulação de culturas agrícolas são programas computacionais que representam, matematicamente, o

crescimento das plantas em relação ao ambiente (GRAVES et al., 2002). A utilidade prática desses modelos se dá através da sua integração em sistemas de suporte à tomada de decisão no contexto agrícola. Esse é o caso do sistema DSSAT, que engloba, além dos modelos de simulação de culturas, um sistema gerenciador de base de dados e um módulo de aplicativos para a avaliação de estratégias tecnológicas, via simulações de longo prazo. Algumas das limitações no DSSAT são relacionadas aos modelos de culturas que não consideram fatores importantes como os efeitos de pragas e doenças, modo de preparo do solo, excesso de água no solo, entre outros (BOOTE et al., 1996).

No Brasil, os trabalhos com modelagem iniciaram na década de 1990, com a família de modelos CERES, principalmente com trigo, milho, soja, arroz e feijão (ANUNCIACÃO & LIU, 1991). Desde então, foram conduzidos experimentos de campo, sob diversas condições, com a finalidade de calibrar e ajustar os modelos para as condições da agricultura no Brasil (FARIA & BOWEN, 2003). A abordagem de simulação na agricultura vem sendo empregada, basicamente, para estudar os problemas relacionados com a variabilidade climática. Os resultados obtidos têm fornecido informações fundamentais às atividades de zoneamento e planejamento agrícola, como por exemplo: cenários de épocas de semeadura (GROSSI, 2012); estimativas de controles biológicos (CALVERO & TENG, 1997); gerenciamento do uso da água (THORP et al., 2010).

No entanto, para que novas aplicações que utilizem modelos de simulação de culturas agrícolas sejam realizadas, faz-se

necessário que os resultados, oriundos do modelo de simulação, representem a realidade da cultura no campo. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar a calibração e a avaliação do modelo *Cropsim-Wheat* em relação a aspectos que interferem na predição dos estádios fenológicos e no rendimento de grãos para um grupo de cultivares de trigo indicadas para cultivo na Região Sul do Brasil. O processo de calibração foi baseado em dados obtidos a partir de experimentos de campo executados nos anos de 2010 e 2011.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Experimentos de campo**

Os dados de campo foram obtidos a partir de experimentos realizados nas áreas experimentais do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), na cidade de Passo Fundo. No ano de 2010, o experimento foi realizado no campo experimental com as coordenadas: -52,2442 (longitude), -28,1414 (latitude) e 643 m (altitude). No ano de 2011, o experimento foi realizado no campo com as coordenadas: -52,4061 (longitude), -28,2269 (latitude) e 679 m (altitude).

O delineamento experimental usado nos experimentos foi o de blocos ao acaso, com parcelas divididas e três repetições para cada bloco. Na parcela principal foi colocado o fator nível de tecnologia, que possui três categorias: N1, N2 e N3, que se diferenciam pelas

atividades relacionadas à adubação de base, à adubação de cobertura, ao controle de pragas e ao controle de doenças.

Para a realização da calibração e as avaliações do modelo *Cropsim-Wheat*, foram considerados os dados obtidos nos blocos de nível tecnológico classificado como alto (N3). Este nível de tecnologia se caracteriza por usar 12,5 kg/ha (no ano de 2010) e 20 kg/ha (no ano de 2011) de nitrogênio, e 62,5 kg/ha e 100 kg/ha de fósforo na adubação de base, respectivamente, para os anos de 2010 e 2011. Na adubação de cobertura, para o fator N3, foram usados 60 kg/ha de nitrogênio para o ano de 2010 e 80 kg/ha de nitrogênio para o ano de 2011. O controle químico usado para o nível N3 foi: 5 aplicações de Engeo Pleno (50, 50, 50, 150 e 150 ml/ha), 4 aplicações de PrioriXtra de 300 ml/ha e 1 aplicação de Nativo de 750 ml/ha. Para a avaliação do rendimento de grãos, foi considerado o melhor rendimento de grãos (kg/ha) dentre as repetições.

Nas subparcelas foi alocado o fator cultivar, sendo avaliadas oito genótipos: BRS 177, RS 194, BRS 276, BRS 296, BRS Louro, Guabiju, Guamirim e Timbaúva. Cada cultivar representa um tratamento na subparcela, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Cultivares de trigo, e respectivos tratamentos, usados nas subparcelas nos experimentos de campo (observados) nos anos de 2010 e 2011.

<b>Cultivar Trigo</b>	<b>Tratamento</b>
BRS 177	T1
BRS 194	T2
BRS 276	T3
BRS 296	T4
BRS Louro	T5
Guabiju	T6
Guamirim	T7
Timbaúva	T8

Para a avaliação dos estádios fenológicos, as amostras das cultivares das plantas de trigo foram coletadas duas vezes por semana e levadas para laboratório. Realizaram-se medidas das variáveis do desenvolvimento da cultura do trigo, observando o crescimento meristemático com lupa. As variáveis avaliadas foram: data do duplo anel, data da espiguetta terminal, data da antese e data da maturação fisiológica. Também foi realizada a colheita e foram medidos os dados de rendimento de grãos das cultivares.

Algumas informações gerais sobre os experimentos de campo, relativos aos anos de 2010 e 2011, são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Informações sobre os experimentos realizados no campo, contendo as datas de semeadura, datas e valores de adubação, espaçamento entre linhas e número de plantas por m<sup>2</sup>, para os respectivos anos de 2010 e 2011.

Variável	2010	2011
Data de semeadura	24/06	06/06
Nitrogênio na base (kg/ha)	12,5	20
Fósforo na base (kg/ha)	62,5	100
Nitrogênio cobertura (kg/ha)	60	80
Data de adubação de cobertura	19/08	28/07
Espaçamento entre linhas (cm)	0,20	0,20
Plantas por m <sup>2</sup>	300	300

Para cada ano dos experimentos, foi realizada a análise química de solo. O anexo 1 deste trabalho mostra a análise química do solo para o ano de 2010, e o anexo 2 mostra a análise química do solo para o ano de 2011. Não foram realizadas as análises físicas do solo, no entanto, conforme informação pessoal do responsável pelo experimento de campo (Sr. Anderson Santi), obteve-se que as condições iniciais do solo na área, do experimento executado no ano de 2010, equivalem a aproximadamente 25% das condições iniciais do solo do experimento executado no ano de 2011.

## 2.2 Modelo de simulação *Cropsim-Wheat*

Para a realização de simulações dos experimentos agrícolas por meio do computador, foi utilizado o modelo de crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo *Cropsim-Wheat*. Esse modelo faz parte do sistema DSSAT e é composto por um módulo da planta do trigo, que se liga com o módulo clima e solo do DSSAT, os quais calculam o balanço hídrico e os componentes necessários para o crescimento da planta (HUNT & PARARAJASINGHAM, 1995).

O modelo *Cropsim-Wheat* permite a sua parametrização de dados de entrada e a obtenção dos resultados das simulações através de arquivos no formato texto (FERNANDES et al., 2004; DELPONTE et al., 2005). Para a utilização do modelo, foram usados os seguintes arquivos, identificados por suas extensões:

- .WTH: arquivo de entrada do modelo com os dados meteorológicos. Os dados são descritos em passo diário, e possuem os seguintes dados: latitude - LAT, longitude - LON, altitude - ELEV, concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (ppm) - CO2, data (formato juliano) - DATE, radiação solar global (Mj/m), temperatura máxima do ar (°C) - TMAX, temperatura mínima do ar (°C) - TMIN e precipitação pluvial (mm) - RAIN.
- .WHX: arquivo que gerencia a execução da simulação. Cada cabeçalho do arquivo, identificado pelo asterisco "\*", indica um controle. Os principais controles são: informações sobre os tratamentos (\*TREATMENTS), cultivares (\*CULTIVARS), arquivos com dados de clima e solo (\*FIELDS), condições

iniciais do solo - água, amônio e nitrato - por camada (\*INICIAL CONDITIONS), adubação de base e de cobertura - nitrogênio e fósforo (\*FERTILIZERS (INORGANIC)), resíduos e fertilizantes orgânicos - matéria orgânica e nitrogênio (\*RESIDUES AND ORGANIC FERTILIZER) e parâmetros de controle do modelo – gerenciamento de água, nitrogênio, controle de doenças, módulo de cálculo da matéria orgânica, dentre outros (\*CONTROLS).

- .SOIL: arquivo de entrada do modelo com os dados de solo. Os dados são descritos a seguir:

<b>Descrição da variável</b>	<b>Símbolo</b>
cor do solo (sistema Munsell de cores)	SCOM
albedo	SALB
base de saturação, cmol kg-1	SLBS
taxa de drenagem, fração dia -1	SLDR
runoff	SLRO
fator de mineralização, escala de 0 a 1	SLNF
fator fotossintético, escala de 0 a 1	SLPF
pH em buffer código do método de determinação	SMHB
código de determinação do fósforo	SMPX
código do método de determinação do potássio	SMKE
Horizonte A	SLMH
limite inferior, cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	SLLL
limite superior, drenagem, cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	SDUL
limite superior, saturação, cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	SSAT
fator de crescimento da raiz, 0.0 a 1.0	SRGF
sat. condutividade hidráulica, macroporos, cm h-1	SSKS
densidade, g cm-3	SBDM
carbono orgânico, %	SLOC
argila (<0.002 mm), %	SLCL
silte (0.05 a 0.002 mm), %	SLSI
Fração grossa (>2 mm), %	SLCF
nitrogênio total, %	SLNI
pH na água	SLHW
pH em buffer	SLHB
capacidade de exportação de cations, cmol kg-1	SCEC
coeficiente de adsorção	SADC

- .CUL: arquivo que contém as variáveis associadas às cultivares,

descritas a seguir.

<b>Descrição da variável</b>	<b>Símbolo</b>
dias de temperatura ótima de vernalização requeridos para completar a vernalização.	P1V
fator de vernalização, apenas quando germinado (#,0-1)	P1V0
Porcentagem de redução na taxa de desenvolvimento na fase 1 em um fotoperíodo de 10 horas mais curta do que o limiar em relação ao ao limite	P1D
Porcentagem de redução na taxa de desenvolvimento na fase 2 em um fotoperíodo de 10 horas mais curta do que o limiar em relação ao ao limite	P2D
duração do final da fase juvenil até a fase de espiguetas terminal (PVoC.D)	P1
duração da fase de espiguetas terminal até a fase pseudo-caule (PoC.D)	P2
duração da fase de pseudo-caule ereto até o final do crescimento de folhas (PoC.D)	P3
duração da fase do final do crescimento de folhas até o final do crescimento de espigas (PoC.D)	P4
duração da fase do final do crescimento da espiga até a antese(PoC.D)	P5
duração da fase de antese (oC.d)	P6
retardo na duração da fase de grãos (oC.d)	P7
duração da fase de enchimento de grãos (oC.d)	P8
número de grão por unidade de peso na fase de antese (#/g)	GNUMW
número máximo de grãos sob condição ótima (mg)	GWTX
peso seco (incluindo grãos) do perfilho maduro (g)	SWTS
intervalo entre aparecimento de folhas (oC.d)	PHINT

- .ECO: arquivo que contém os coeficientes de resposta da planta em relação ao ambiente (ecotipo). As variáveis usadas são:

<b>description</b>	<b>symbol</b>
eficiência da utilização da radiação PAR (g/MJ)	PARUE
area padrão da primeira folha (cm <sup>2</sup> )	LA1S
área foliar máxima	LAXS
tamanho da área foliar	LAWS
fase intermediária de senescência da folha (fr/padrão dia)	LSENI
início do estágio de senescência da folha (estádio)	LSENS
tipo de arista (0-10 10=muito longa)	AWNS
limite do perfilhamento	TI1LF
taxa de perfilhamento	TIFAC
tamanho da planta	HTSTD
concentração padrão de proteínas de grão (% dm)	GRPS
concentração de reservas no auge da antese (%)	RSPAT
tolerância ao frio (°C)	LT50H

- .SPE: arquivo que caracteriza a espécie. Possui variáveis que caracterizam a composição dos tecidos e processos da planta, como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento;

Os resultados gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat* são armazenados em arquivos textuais, com formatos pré-definidos, caracterizados pela extensão .OUT. Um desses arquivos gerados é o OVERVIEW.OUT, cujo exemplo é mostrado na Figura 1.

STAGE DATES AND STATES, AND PHASE STRESSES											
YEARDOY	DOM	MON	DAP	STAGE/PHASE	CWAD	LAI	LNUM	CNAD	CN%D	WSPAV	<b>NSPAV</b>
2010178	27	Jun	3	1 Germination	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	<b>0.01</b>
2010241	29	Aug	66	2 T.Spikelet	1615	2.78	9.2	69	4.3	0.00	<b>0.18</b>
2010250	7	Sep	75	3 Pseudo_Stem	1973	3.40	10.9	77	3.9	0.00	<b>0.27</b>
2010258	15	Sep	83	4 End_Leaf	2051	3.29	12.4	78	3.8	0.00	<b>0.24</b>
2010268	25	Sep	93	5 Head_Emerge	2983	2.92	12.4	82	2.7	0.00	<b>0.23</b>
2010276	3	Oct	101	6 Anthesis	4099	2.63	12.4	85	2.1	0.00	<b>0.22</b>
2010279	6	Oct	104	7 End_Anthesis	4522	2.56	12.4	87	1.9	0.00	<b>0.21</b>
2010289	16	Oct	114	8 Begin_G.Fill	5919	2.28	12.4	90	1.5	0.00	<b>0.32</b>
2010317	13	Nov	142	9 End_G.Fill	9725	0.56	12.4	125	1.3	0.00	<b>0.41</b>

SIMULATED-MEASURED COMPARISONS		
VARIABLE.....	SIMULATED	MEASURED
Germination (DAP)	3	-99
Emergence (DAP)	5	-99
<b>Double ridges (DAP)</b>	<b>45</b>	-99
<b>Terminal spikelet (DAP)</b>	<b>66</b>	-99
Inflorescence emergence (DAP)	93	-99
<b>Anthesis (DAP)</b>	<b>101</b>	-99
<b>Maturity (DAP)</b>	<b>142</b>	-99
Assimilation+seed (kg dm/ha)	14224	-99
Above ground (kg dm/ha)	9800	-99
Roots+seed residue (kg dm/ha)	1319	-99
Senesced (kg dm/ha)	1742	-99
Respired (kg dm/ha)	1363	-99
<b>Grain wt (kg dm/ha;no loss)</b>	<b>4609</b>	-99

Figura 1 - Exemplo do arquivo OVERVIEW.OUT, que contém os resultados simulados dos estádios fenológicos e o rendimento de grãos (em negrito) gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat*.

No arquivo OVERVIEW.OUT são colocados os principais resultados das simulações, como por exemplo: os estádios da fenologia da planta (*Double ridges*, *Terminal spikelet*, *Anthesis*, *Maturity*), déficit de nitrogênio por estádios fenológicos das planta (NSPAV) e o rendimento de grãos (*Grain wt*).

As variáveis do desenvolvimento da planta, salientes na Figura 1, são determinadas pela unidade: dias após a semeadura (*Days After Planting – DAP*). Em relação ao rendimento de grãos (*Grain wt*), a unidade de medida usada foi kg/ha. O rendimento de grãos simulado é gerado sem a correção de umidade de grãos, portanto, usou-se o fator de correção de 13% para que o rendimento de grãos simulado seja semelhante ao rendimento de grãos dos experimentos de campo.

### **2.3 Experimentos simulados**

Os experimentos observados no campo foram reproduzidos de maneira a serem simulados, com o uso do computador, usando o modelo de simulação da cultura do trigo *Cropsim-Wheat*. Portanto, o formato usado para representar os dados, nesta seção, é o formato padrão do modelo.

Os dados meteorológicos, arquivo .WHT do *Cropsim-Wheat*, foram obtidos da estação automática, de código A839, nas coordenadas latitude -28,2294, longitude -52,4039 e altitude 684 m, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As variáveis necessárias para o modelo *Cropsim-Wheat* foram data (formato juliano), radiação solar global (MJ/m - megaJoules por metro), temperatura máxima do ar (°C - graus celsius), temperatura mínima do ar (°C) e precipitação pluvial (mm - milímetros), além da quantidade de CO<sub>2</sub> (ppm - partes por milhão) (Figura 2). No entanto, os dados meteorológicos estavam numa escala horária e o modelo *Cropsim-Wheat* utiliza uma escala diária. Portanto, realizou-se um cálculo em base diária nos dados para uma escala diária. Fez-se uma soma diária

da radiação solar global e precipitação pluvial. Sobre a temperatura do ar, foram selecionadas as temperaturas mínimas e temperaturas máximas de cada dia.

```
*WEATHER DATA : PASS
@ INSI      LAT      LONG  ELEV  TAV  AMP REFHT WNDHT  CO2
PASS -28.229 -52.404 684 -99 -99 -99 -99 350.0
@DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN
10001  24.7  27.1  16.0  0.0
10002  27.7  29.7  18.6  0.0
10003  21.8  31.8  21.2  6.6
10004  07.9  26.8  20.1  20.0
10005  13.1  27.6  20.0  21.0
10006  16.4  26.0  20.4  1.0
```

Figura 2 - Exemplo do arquivo .WHT, que contém os dados sobre as variáveis meteorológicas, usado como entrada para a execução do modelo *Cropsim-Wheat*

Os dados de solo, arquivo .SOIL do *Cropsim-Wheat*, para os anos de 2010 e 2011 já adaptados ao formato do *Cropsim-Wheat*, foram fornecidos pelo responsável pelos experimentos (Sr. Anderson Santi), conforme mostra a Figura 3.

As datas de semeadura dos experimentos de campos foram transformadas do formato gregoriano (DD/MM/AAAA) para o formato juliano (AADDD). Portanto, a data de 24/06/2010 corresponde à data juliana 10140 e a data de 06/06/2011 corresponde à data juliana 11136.

As informações sobre a adubação (nitrogênio na base – FAMN, fósforo na base – FAMP, nitrogênio na cobertura – FAMN e as datas de aplicação da adubação – FDATE) usadas nos experimentos simulados são informadas no arquivo com a extensão .WHX. A Figura 4 mostra um trecho do arquivo onde foi definida a adubação. Também foram informadas, para os respectivos anos, a quantidade de matéria orgânica na superfície kg/ha – RAMT (Figura 4), e quantidade de nitrogênio da superfície – RESN (Figura 4).

```

*0000003451  EBPF201017  CNPT (com N)          Lvd
@SITE        COUNTRY          LAT          LONG SCS Family
-99          Brazil          -28.141     -52.244  LATOSSOL VERMEL
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLFF  SMHB  SMPX  SMKE
-99    0.1    6    0.6    60    0.8    1    IB00  IB00  IB00
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCE  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
10    -99  0.233  0.403  0.496  1    -99  1.34  1.75  54  22  -99  0.32  5    -99  12  -99
20    -99  0.23  0.408  0.523  0.45  -99  1.26  1.34  57  18  -99  0.17  4.8  -99  14  -99
40    -99  0.249  0.425  0.503  0.1    -99  1.32  1.23  59  17  -99  0.09  4.8  -99  13  -99
70    -99  0.238  0.422  0.596  0.01  -99  1.07  1.05  70  14  -99  0.03  4.8  -99  13  -99
100   -99  0.219  0.444  0.599  0.01  -99  1.06  0.88  65  16  -99  0.03  4.8  -99  16  -99

```

(ano de 2010)

```

*0000003452  EBPF201117  CNPT (com N)          Lvd
@SITE        COUNTRY          LAT          LONG SCS Family
-99          Brazil          -28.227     -52.406  LATOSSOL VERMEL
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLFF  SMHB  SMPX  SMKE
-99    0.1    6    0.6    60    0.8    1    IB00  IB00  IB00
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCE  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
10    -99  0.233  0.403  0.496  1    -99  1.34  1.75  54  22  -99  0.65  5    -99  12  -99
20    -99  0.23  0.408  0.523  0.45  -99  1.26  1.34  57  18  -99  0.45  4.8  -99  14  -99
40    -99  0.249  0.425  0.503  0.1    -99  1.32  1.23  59  17  -99  0.41  4.8  -99  13  -99
70    -99  0.238  0.422  0.596  0.01  -99  1.07  1.05  70  14  -99  0.25  4.8  -99  13  -99
100   -99  0.219  0.444  0.599  0.001  -99  1.06  0.88  65  16  -99  0.15  4.8  -99  16  -99

```

(ano de 2011)

Figura 3 - Configurações dos arquivos, formato *Cropsim-Wheat*, de solo (.SOL) usadas nos experimentos simulados nos anos de 2010 e 2011.

Para que o modelo de simulação *Cropsim-Wheat* crie um cenário de ambiente (clima, solo) anterior à semeadura, foi necessário informar a data de início da simulação. Sendo assim, foram consultados os dados meteorológicos de precipitação pluvial, e escolhidas como datas de início da simulação, para cada ano, dias após a ocorrência chuva. Assim os experimentos simulados foram executados em uma mesma condição de início de simulação. Para o ano de 2010, a data de início da simulação foi 20/05, 35 (trinta e cinco) dias antes da semeadura, sendo que nos três dias anteriores identificou-se uma precipitação pluvial acumulada de 82,4 milímetros. No ano de 2011, a data escolhida para início da simulação foi 16/05, vinte e um dias antes da semeadura, sendo que nos dois dias anteriores indicaram uma precipitação pluvial acumulada de 44,4 milímetros.

```

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@F FDATE  FMCD  FACD  FDEP  FAMN  FAMP
 1 10175    1   -99    5  12.5  62.5
 1 10231    1   -99    1   60   -99

*RESIDUES AND ORGANIC FERTILIZER
@R RDATE  RCOD  RAMT  RESN  RESP  RESK  RINP  RDEP  RMET  RENAME
 1 10140  -99  3000  0.53  -99  -99  -99    5  -99 -99

      (ano de 2010)

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@F FDATE  FMCD  FACD  FDEP  FAMN  FAMP
 1 11157    1   -99    5   20  100
 1 11209    1   -99    1   80  -99

*RESIDUES AND ORGANIC FERTILIZER
@R RDATE  RCOD  RAMT  RESN  RESP  RESK  RINP  RDEP  RMET  RENAME
 1 11136  -99  3000  0.53  -99  -99  -99    5  -99 -99

      (ano de 2011)

```

Figura 4 - Configurações usadas nos experimentos simulados, para os anos de 2010 e 2011, sobre a adubação de base e cobertura (\*FERTILIZERS...) e sobre a adubação orgânica (\* RESIDUES ...).

## 2.4 Calibração do modelo *Cropsim-Wheat*

Para a realização da calibração, foi adotado um método empírico, onde se alteravam os valores dos coeficientes genéticos das cultivares e executava-se o modelo e analisavam-se os resultados. A análise foi realizada através da comparação dos valores observados nos experimentos de campo em relação aos valores simulados pelo *Cropsim-Wheat*. Esse tipo de metodologia pode ser adotada devido aos recursos tecnológicos disponibilizados pelo banco de dados AgroDB, descritos no Capítulo 1.

Em relação aos estádios fenológicos, a unidade de medida usada foi dias após a semeadura (DAP), usada pelo fato de o modelo de simulação *Cropsim-Wheat* utilizá-la em seus resultados simulados. Também, para as variáveis do desenvolvimento da planta, foram demonstrados e avaliados o erro médio absoluto (*Mean Absolute*

*Error* – MAE); o erro médio padrão (*Mean Standard Error* – MSE) e o erro médio quadrático (RMSE – *Root Mean Square Error*).

Para a calibração dos estádios fenológicos do trigo, foram alterados os valores dos coeficientes genéticos das variáveis das cultivares de trigo (Tabela 3). Esas variáveis são usadas como dados de entrada para *CropSim-Wheat* e armazenadas no arquivo .CUL.

Outro tipo de calibração, em relação ao rendimento de grãos, foi a utilização de duas configurações diferentes de ecotipos (arquivo .ECO do *CropSim-Wheat*). O que diferencia uma configuração de ecotipo para outra são os valores dos coeficientes das variáveis: LAWS (*Leaf Area to Weight*) e HTSTD (*Standard canopy height (cm)*). A primeira configuração foi usada para as cultivares com porte de 90 cm de altura e área foliar de 50 cm<sup>2</sup> (Figura 5.a). Essa configuração foi usada para as cultivares: BRS 177, BRS 194, BRS 276, BRS Louro, Guabiju, Timbauva e BRS 296. Uma segunda configuração foi usada para a cultivar Guamirim, sendo o porte de 80 cm e área foliar de 40 cm<sup>2</sup> (Figura 5.b).

```

$ECOTYPES:WHCRP060

@ECOTYPE:WHCRP060
@ECONO ECONAME..... PARUE LA1S LAXS LAWS LSENI LSENS AWNS TI1LF TIFAC HTSTD GRPS RSPAT LT50H
!
BRWH01 BRAZIL          2.3  2.0  50.0  280 .003  8.5  5.0  3.0  1.0  090  12.0  10  -10

```

(a)

```

$ECOTYPES:WHCRP060

@ECOTYPE:WHCRP060
@ECONO ECONAME..... PARUE LA1S LAXS LAWS LSENI LSENS AWNS TI1LF TIFAC HTSTD GRPS RSPAT LT50H
!
BRWH02 BRAZIL          2.3  2.0  40.0  320 .003  8.5  5.0  3.0  1.0  080  12.0  10  -10

```

(b)

Figura 5 - Configurações dos ecotipos, formato DSSAT, utilizadas para a calibração das cultivares. A configuração (a) foi usada em todas as cultivares de trigo testadas, exceto a cultivar de trigo Guamirim, na qual foi usada a configuração (b).

Tabela 3 - Coeficientes genéticos de cultivares de trigo usados pelo modelo *Cropsim-Wheat* (padrão DSSAT) e os valores calibrados, em relação à fenologia da planta e ao rendimento de grãos, para as cultivares de trigo testadas.

Variável	BRS 177	BRS 194	BRS 276	BRS Louro	Guabiju	Guamirim	Timbauva	BRS 296
P1V	0	0	0	0	0	0	0	0
P1V0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1D	25	25	25	25	25	0	25	25
P2D	50	50	50	50	50	0	50	50
P1	680	680	680	650	650	820	680	680
P2	110	80	140	150	140	110	80	160
P3	100	120	100	150	100	110	120	110
P4	150	120	100	60	100	110	120	100
P5	140	120	130	100	50	50	120	100
P6	35	35	35	35	10	45	35	35
P7	175	175	175	175	175	175	175	175
P8	500	500	500	500	500	500	500	500
GNUMW	25	25	28	33	34	38	30	32
GWTX	34	36	34	39	38	38	38	40
SWTS	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
PHINT	90	90	90	90	90	90	90	90

P1V: Dias de temperatura do ar ótima para completar a vernalização; P1V0: Fator de vernalização quando germinada (0-1); PID: Porcentagem de redução na taxa de desenvolvimento na fase um num fotoperíodo de 10 horas; P2D: Porcentagem de redução na taxa de desenvolvimento na fase dois num fotoperíodo de 10 horas; P1: Duração do final da fase juvenil para a fase de espiguetas terminal; P2: Duração da fase de espiguetas terminal para pseudocaulis; P3: Duração da fase de pseudocaulis ereto terminando com o crescimento da folha; P4: Duração da fase do crescimento da folha até o pico do crescimento da planta; P5: Duração do pico do crescimento da planta até a antese; P6: Duração da fase de antese; P7: Atraso nos grãos; P8: Duração da fase de enchimento de grãos; GNUMW: Número de grãos por peso de massa na antese; GWTX: Número máximo de grãos em condições ótimas (mg); SWTS: padrão, sem estresse peso seco (incluindo grão) da parte aérea madura no final do ciclo; PHINT: Intervalo de filocron (aparecimento de uma folha e uma sucessiva).

Na calibração do *Cropsim-Wheat* foram estabelecidas as condições iniciais do solo para a realização das simulações (Figura 6). As variáveis determinadas, para cada camada de solo (ICBL), foram: a quantidade de água (SH2O), a quantidade de amônio (NH4) e nitrato (NO3). Essas configurações fazem parte do arquivo .WHX e são descritas na Figura 6(a) para o ano de 2010 e Figura 6(b) para o ano de 2011.

```
*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
1 WH 10140 1200 0 1.00 1.00 -99.0 6500 1.14 0.00 100 15 -99
@C ICBL SH2O SNH4 SNO3
1 10 0.1 1.7 4.9
1 20 0.08 1.6 3.65
1 40 0.04 1.25 2.55
1 70 0.03 1.1 2.35
1 100 0.02 1.35 2.15
```

(a)

```
*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
1 WH 11136 1200 0 1.00 1.00 -99.0 6500 1.14 0.00 100 15 -99
@C ICBL SH2O SNH4 SNO3
1 10 0.41 6.8 19.6
1 20 0.34 6.4 14.6
1 40 0.184 5 10.2
1 70 0.13 4.4 9.4
1 100 0.122 5.4 8.6
```

(b)

Figura 6 - Configurações das condições iniciais do solo (água - SH2O, amônio - SNH4 e nitrato - SNO3), especificadas no formato do arquivo .WHX do *Cropsim-Wheat*, para os anos de 2010, configuração (a), e 2011 configuração (b).

Os parâmetros de controle do modelo *Cropsim-Wheat* (Figuras 7(a) ano 2010 e 7(b) ano de 2011) são descritos no arquivo .WHX. Para efeitos de calibração foram considerados três aspectos de controle: (i) controle de ocorrência de doenças; (ii) controle do déficit de água; (iii) controle do déficit de nitrogênio.

O controle de ocorrência de doenças e pragas é definido através do coeficiente de valor da variável DISES, conforme mostra a Figura 7. Se o coeficiente é "Y" significa que o modelo está

computando a ocorrência de doenças e pragas. Se o valor do coeficiente é "N", significa que o experimento está livre de doenças.

```

*CONTROLS
@N GENERAL      NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME
1 4,04          0 1 S 10140 2223 47653
@N OPTIONS      WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES  CHEM  TILL  CO2
1 OP           Y  Y  N  N  N  N  N  N  N  M
@N METHODS      WTHR  INCON LIGHT  EVAPO  INFIL PHOTO HYDRO  NSWI MESOM MEWNU TUNIT
1 M           M  M  E  M  S  P  R  1  G  W  D
@N MANAGEMENT  PLANT  IRRIG FERTI  RESID HARVS
1 MA          R  R  R  R  M
@N OUTPUTS      FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT LONG CHOUT OPOUT
1 Y           N  Y  D  1  Y  N  A  Y  N  N  Y  N  N

(2010)

*CONTROLS
@N GENERAL      NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME
1 4,04          0 1 S 11136 2223 47637
@N OPTIONS      WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES  CHEM  TILL  CO2
1 OP           Y  Y  N  N  N  N  N  N  N  M
@N METHODS      WTHR  INCON LIGHT  EVAPO  INFIL PHOTO HYDRO  NSWI MESOM MEWNU TUNIT
1 M           M  M  E  M  S  P  R  1  G  W  D
@N MANAGEMENT  PLANT  IRRIG FERTI  RESID HARVS
1 MA          R  R  R  R  M
@N OUTPUTS      FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT LONG CHOUT OPOUT
1 Y           N  Y  D  1  Y  N  A  Y  N  N  Y  N  N

(2011)

```

Figura 7 - Variáveis de controle das simulações (controle do déficit de água - WATER, controle do déficit de nitrogênio - NITRO, controle da ocorrência de pragas e doenças - DISES) usadas pelo modelo *Cropsim-Wheat*, para os anos de 2010 e 2011.

O parâmetro de controle de ocorrência de déficit de água é identificado pela variável WATER (Figura 7). Se o valor do coeficiente é "Y" significa que pode ocorrer déficit hídrico. Caso seja "N", o modelo não computa o déficit hídrico.

Para o nitrogênio, o parâmetro de controle é o valor do coeficiente da variável NITRO (Figura 7). Se valor do coeficiente é "Y", significa que o modelo está levando em consideração o déficit de nitrogênio. Se o valor do coeficiente é "N", o modelo desconsidera a ocorrência de déficit de nitrogênio.

Ainda em relação ao déficit de nitrogênio, foram criados cenários de dados meteorológicos com maior e menor, ocorrências de precipitação pluvial em determinados meses do ano, de forma a verificar a ocorrência de déficit de nitrogênio por lixiviação. Esses

cenários são descritos na Tabela 3, sendo o Cenário 1 a precipitação pluvial observada acumulada no mês e o Cenário 2 o índice de 50% da precipitação acumulada no mês, do Cenário 1.

Tabela 3 - Cenários de ocorrência de precipitação pluvial para simular perda de nitrogênio por lixiviação. O Cenário 1 caracteriza a precipitação pluvial da estação automática, de código: A839 do INMET. O Cenário 2 representa 50% da precipitação pluvial do Cenário 1.

Meses	Cenário 1	Cenário 2
Julho/2011	304,6 mm	152,3 mm
Agosto/2011	216,2 mm	108,1 mm

### 3 RESULTADOS

As coeficientes genéticos do modelo *Cropsim-Wheat* identificados como influentes na fenologia das cultivares e ajustados foram: P1 (duração do final da fase juvenil para a fase de espiguetas terminal), P2 (duração da fase de espiguetas terminal para pseudocaule), P3 (duração da fase de pseudocaule ereto terminando com o crescimento da folha), P4 (duração da fase do crescimento da folha até o pico do crescimento da planta), P5 (duração do pico do crescimento da planta até a antese) e P6 (duração da fase de antese).

Foram obtidos resultados em relação aos estádios fenológicos da planta e em relação ao rendimento de grãos. Na Tabela 4, é mostrada a interferência da alteração do valor do coeficiente da variável em relação ao estágio fenológico da planta do trigo.

Tabela 4 - Variáveis fenológicas usadas pelo modelo *Cropsim-Wheat* e a sua interferência em relação aos estádios fenológicos da planta na ocorrência de alteração dos valores de seus coeficientes.

Variáveis	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<b>Estádios</b>						
Duplo Anel	✓	✓	✓	✓	✓	X
Espiguetta terminal	✓	X	X	X	X	X
Antese	✓	✓	✓	✓	✓	X
Maturação Fisiológica	✓	X	X	X	X	✓

✓: Interfere; X: Não interfere

P1: Duração do final da fase juvenil para a fase de espiguetta terminal; P2: Duração da fase de espiguetta terminal para pseudocaule; P3: Duração da fase de pseudocaule ereto terminando com o crescimento da folha; P4: Duração da fase do crescimento da folha até o pico do crescimento da planta; P5: Duração do pico do crescimento da planta até a antese; P6: Duração da fase de antese.

A seguir são mostrados os resultados comparativos entre experimentos de campo e os respectivos experimentos simulados, para os estádios fenológicos do trigo. Para cada cultivar, em cada estágio fenológico da planta, no respectivo ano, são primeiramente descritos os valores observados nos experimentos de campo e depois os valores simulados pelo modelo *Cropsim-Wheat*. Nos gráficos, os marcadores de cor azul representam o ano de 2010 e os marcadores de cor vermelha representam o ano de 2011.

A Figura 8 mostra os resultados obtidos para a cultivar BRS 177. Para o estágio duplo anel obteve-se, para o ano de 2010, os valores 43 e 45 DAP. Em 2011, os valores foram: 49 e 48 DAP. Os resultados para o estágio de espiguetta terminal, no ano de 2010, foram 63 e 66 DAP. Em 2011 obteve-se 74 e 71 DAP. Em relação ao estágio de antese, para o ano de 2010, obteve-se 98 e 101 DAP. Em 2011, os valores foram 113 e 112 DAP. Por fim, em relação ao estágio de maturação fisiológica, os resultados para o ano de 2010, foram 141 e 142 DAP. Já em 2011, os números foram de 148 e 150 DAP.

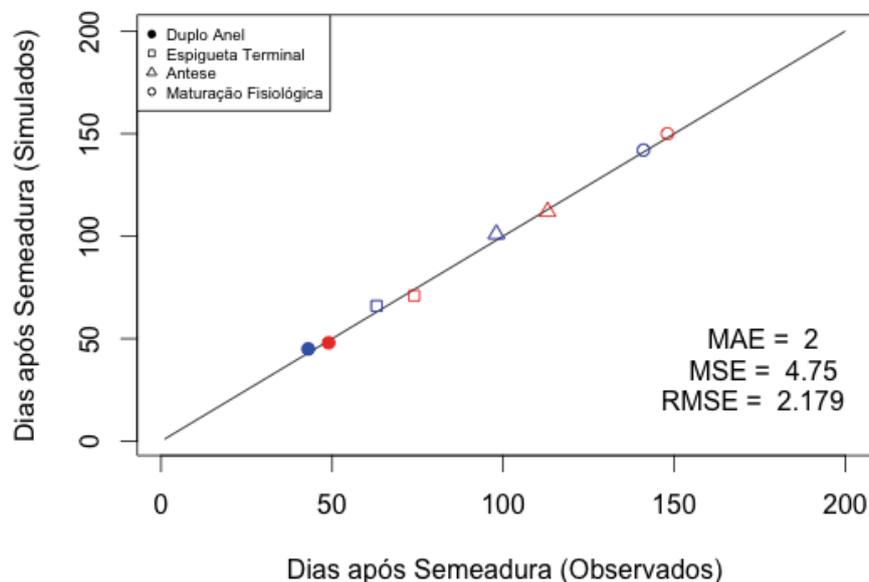


Figura 8 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 177 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

A Figura 9 mostra os resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS 194. Obteve-se para o ano de 2010, no estágio de duplo anel, 41 e 45 DAP. Em 2011, obteve-se 49 e 48 DAP. No estágio de espiguetas terminal, no ano de 2010, os valores foram: 63 e 66 DAP. Para o ano de 2011, os resultados obtidos foram 72 e 71 DAP. Em relação ao estágio de antese, no ano de 2010, os resultados foram: 91 e 97 DAP. No ano de 2011, obteve-se 107 e 108 DAP. Para o estágio maturação fisiológica, em 2010, os resultados foram 141 e 138 DAP. Em 2011 os valores obtidos foram: 148 e 146 DAP.

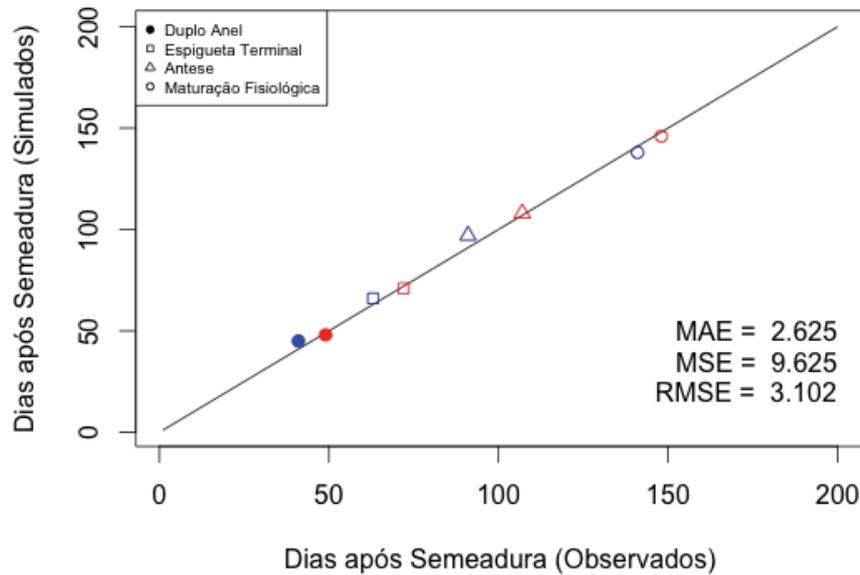


Figura 9 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 194 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Na Figura 10, são apresentados os resultados da calibração da cultivar de trigo BRS 276. No estágio de duplo anel, para o ano de 2010, obteve-se 41 e 45 DAP. Para o ano de 2011, os valores foram: 52 e 48 DAP. Para o estágio de espiguetas terminais, os resultados de 2010 foram 63 e 66 DAP. No ano de 2011, 72 e 71 DAP. No estágio de antese, os valores de 2010 foram 98 e 100 DAP. Em relação a 2011, obteve-se 112 e 110 DAP. Para a maturação fisiológica, em 2010 os valores obtidos foram 137 e 141 DAP. No ano de 2011, os valores foram 148 e 149 (DAP).

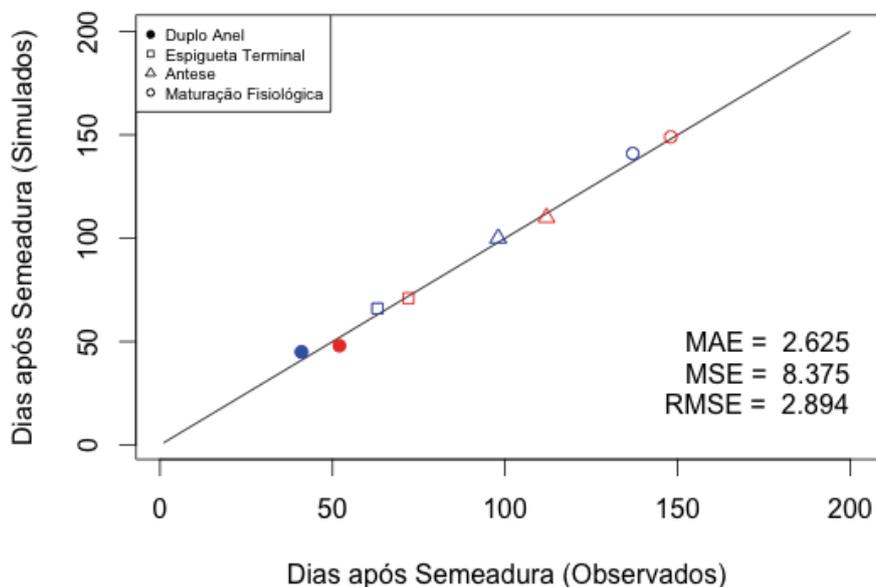


Figura 10 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 276 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Em relação aos resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS Louro (Figura 11). Para o estágio de duplo anel, os resultados do ano de 2010 corresponderam a 43 e 43 DAP. Em 2011, os valores foram 49 e 47 DAP. Em relação ao estágio de espiguetas terminais, em 2010, obtiveram-se os valores 63 e 64 DAP. Para o ano de 2011, os valores foram 72 e 68 DAP. No estágio de antese, para 2010, os valores corresponderam a 91 e 98 DAP. Já em 2011, os valores foram 108 e 109 DAP. Em 2010, os valores para a fase de maturação fisiológica foram 133 e 139 DAP. Para 2011 os valores corresponderam a 148 e 149 DAP.

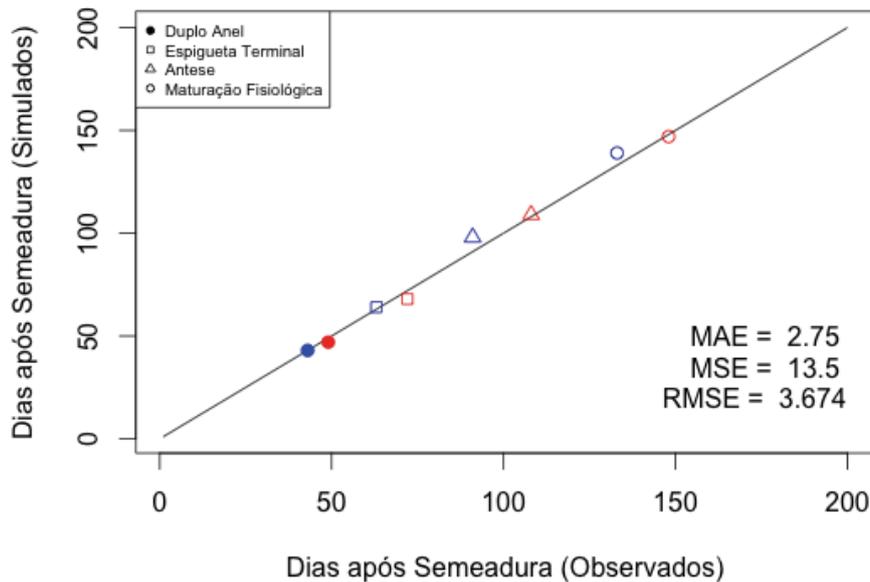


Figura 11 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS Louro e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Em relação à cultivar de trigo Guabijú, os valores obtidos para o estágio de duplo anel, em 2010, obteve-se 42 e 43 DAP. Em 2011, os valores foram 49 e 47 DAP. Para estágio da fenologia de espigueta terminal, em 2010, os valores foram 63 e 64 DAP. Para o ano de 2011, 67 e 68 DAP. No estágio de antese, em 2010, os valores corresponderam a 91 e 93 DAP. Em 2011 os valores foram 102 e 103 DAP. Por fim, para o estágio de maturação fisiológica em 2010, os valores foram 133 e 133 DAP. Já em 2011, os resultados obtidos foram 148 e 140 DAP.

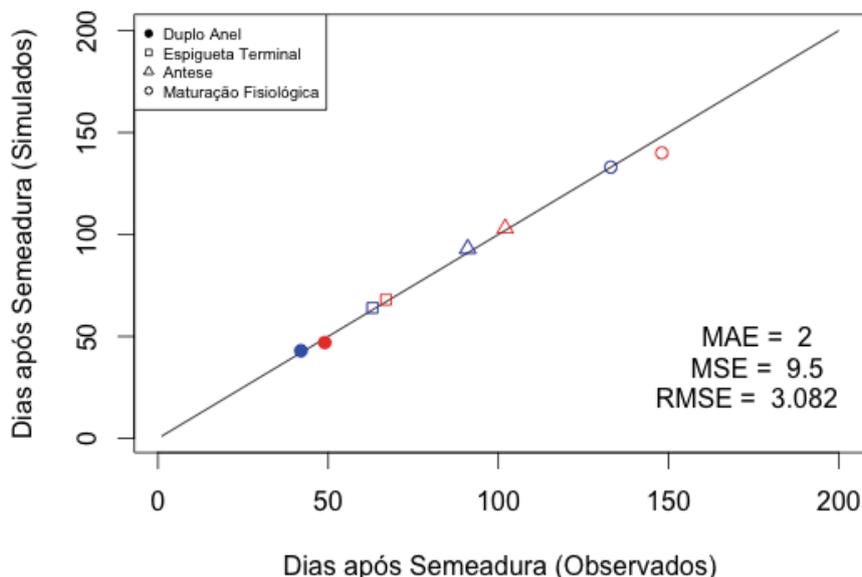


Figura 12 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Guabijú e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

A Figura 13 mostra os resultados da calibração realizada para a cultivar de trigo Guamirim. No estádio de duplo anel, obteve-se os valores 42 e 44 DAP para o ano de 2010. Os valores 49 e 48 DAP foram obtidos no ano de 2011. Para o estádio de espiguetas terminal, no ano de 2010, os resultados obtidos foram 63 e 65 DAP. Já para o ano de 2011, os resultados foram: 67 e 70 DAP. Em relação ao estádio fenológico de antese, os valores 85 e 89 DAP foram obtidos para o ano de 2010. Já os valores 102 e 98 DAP foram os resultados obtidos para o ano de 2011. Para o estádio de maturação fisiológica, os valores 128 e 131 DAP correspondem aos resultados obtidos para o ano de 2010. Já para o ano de 2011, os valores dos resultados foram 148 e 138 DAP.

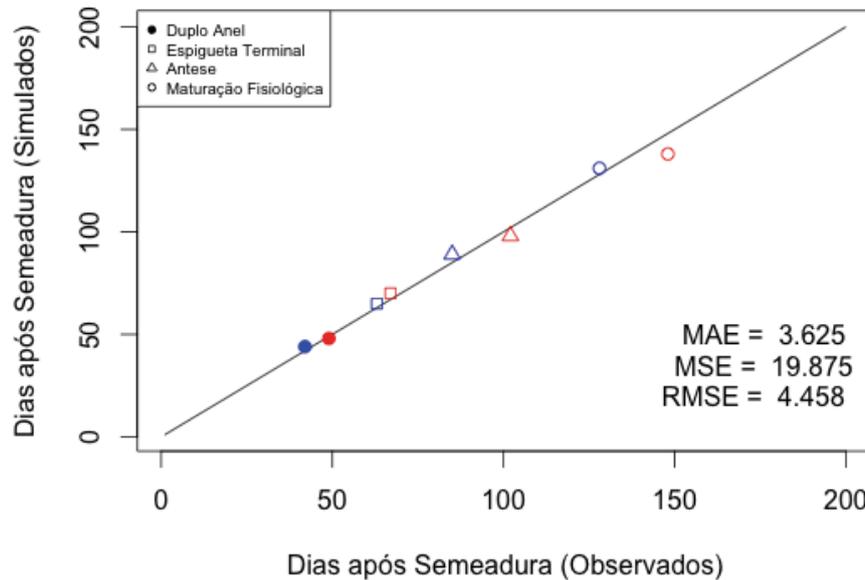


Figura 13 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Guamirim e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Os resultados dos estádios fenológicos obtidos para a cultivar de trigo Timbaúva são mostrados na Figura 14. Para o estágio de duplo anel, apurou-se 42 e 45 DAP, referente o ano de 2010. No entanto, os valores 49 e 48 DAP correspondem ao ano de 2011. Para o estágio de espiguetas terminal, no ano de 2010, obteve-se 63 e 66 DAP. Para o ano de 2011, os valores foram 77 e 71 DAP. Em relação ao estágio de antese, obteve-se como resultados 91 e 97 DAP, correspondendo ao ano de 2010. Os valores, 111 e 108 DAP, correspondem aos resultados do ano de 2011. Em relação à maturação fisiológica da cultivar de trigo Timbauva, para o ano de 2010, os resultados obtidos foram: 135 e 138 DAP. Já para o ano de 2011, os resultados obtidos foram de: 148 e 149 DAP.

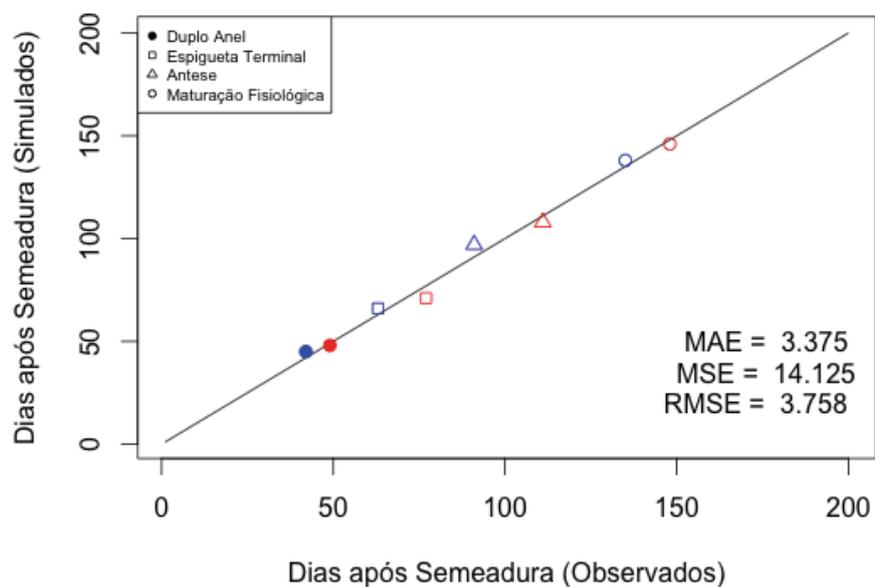


Figura 14 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo Timbaúva e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Em relação aos resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS 296, para o estágio fenológico de duplo anel, obteve-se 43 e 45 DAP, para o ano de 2010. Já para 2011 os valores foram 49 e 48 DAP. Para o estágio de espiguetas terminal, os resultados correspondem a 63 e 66 DAP, para o ano de 2010. Os valores 74 e 71 DAP correspondem aos resultados obtidos para o ano de 2011. Para o estágio de antese, os valores de 2010 correspondem a 98 e 101 DAP. Em 2011, os valores do estágio de antese correspondem a 114 e 111 DAP. Em relação ao estágio de maturação fisiológica, em 2010, os valores correspondem a 137 e 141 DAP. Para o ano de 2011, os valores foram 148 e 149 DAP.

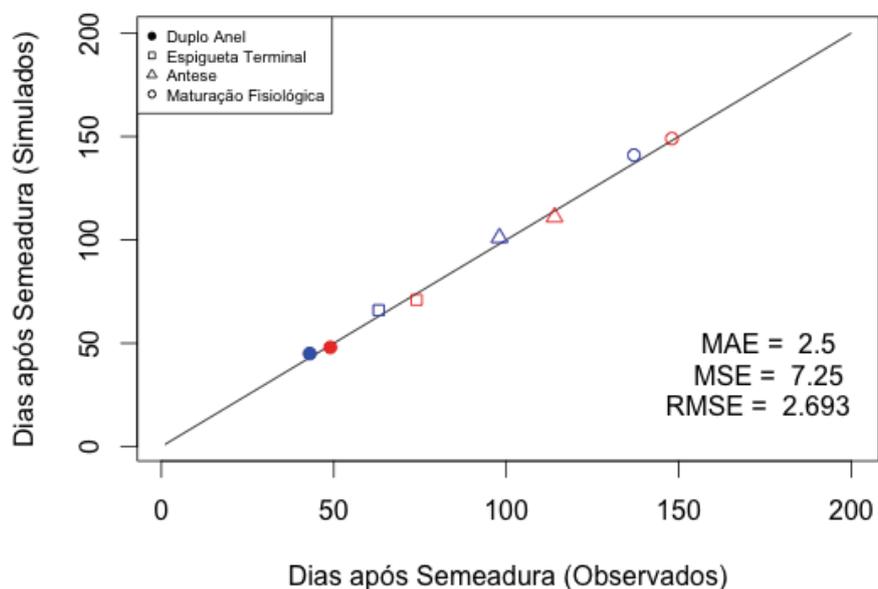


Figura 15 - Gráfico comparativo dos resultados dos experimentos, simulados e observados, para os anos 2010 (azul) e 2011 (vermelho), da fenologia da cultivar de trigo BRS 296 e valores de erro médio absoluto (MAE), erro médio padrão (MSE) e erro médio quadrático (RMSE).

Os valores de erros (erro médio absoluto - MAE, erro médio padrão - MSE e erro médio quadrático - RMSE), entre os valores simulados e observados, dos estádios fenológicos da planta, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela comparativa entre as cultivares de trigo e seus respectivos valores de coeficientes de erro.

Cultivar	MAE	MSE	RMSE
BRS 177	2	4,75	2,170
Guabijú	2	9,5	3,082
BRS 296	2,5	7,25	2,693
BRS 276	2,625	8,375	2,894
BRS 194	2,625	9,625	3,102
BRS Louro	2,75	13,5	3,674
Timbaúva	3,375	14,125	3,758
Guamirim	3,625	19,875	4,458

MAE: erro médio absoluto (*Mean Absolute Error*); MSE: o erro médio padrão (*Mean Standard Error*); RMSE: erro médio quadrático (*Root Mean Square Error*).

Em relação ao rendimento de grãos, os coeficientes das variáveis das cultivares ajustadas foram: GNUMW (Número de grãos por peso de massa na antese) e SWTS (padrão, sem estresse peso seco (incluindo grão) da parte aérea madura no final do ciclo). A seguir são mostrados os resultados obtidos, fazendo um comparativo com os resultados dos experimentos observados no campo em relação aos experimentos simulados pelo modelo *Cropsim-Wheat*, para as oito cultivares de trigo avaliadas.

Na Figura 16 são mostrados os resultados, para a cultivar de trigo BRS 177, para os anos de 2010 e 2011. Em 2010, o rendimento de grãos observado foi de 4.721 kg/ha e o simulado 5.199,13 kg/ha. Para o ano de 2011, o rendimento de grãos observado foi de 5.185,42 kg/ha e o simulado de 5.595,76 kg/ha.

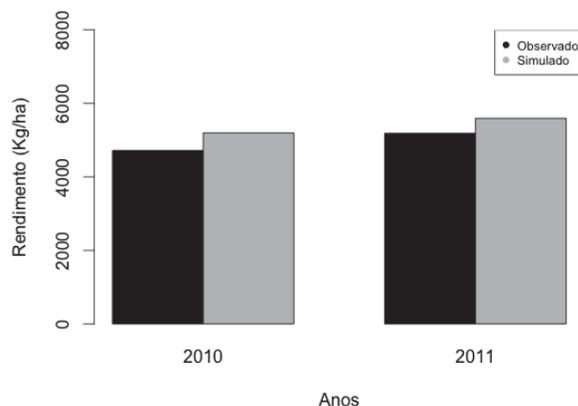


Figura 16 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 177.

Em relação aos resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS 194 (Figura 17), para o ano de 2010, o valor do rendimento de

grãos do experimento observado foi de 3.299 kg/ha, sendo que o rendimento de grãos do experimento simulado foi de 5.604,80 kg/ha. No ano de 2011, os rendimentos de grãos, do experimento observado e do experimento simulado, foram respectivamente 5.701,62 kg/ha e 5.865,83 kg/ha.

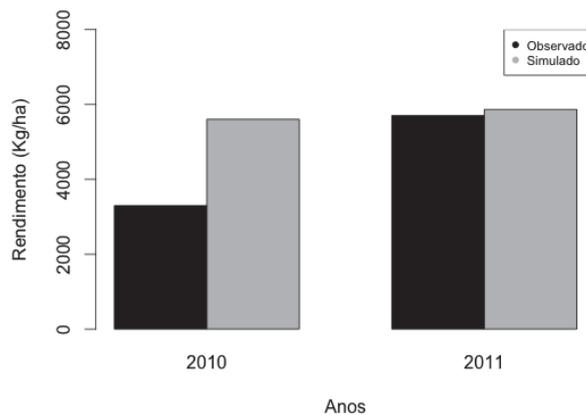


Figura 17 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 194.

Para a cultivar de trigo BRS 276 (Figura 18), no ano de 2010, os resultados obtidos, para os experimentos observados e simulados, de rendimento de grãos, foram respectivamente: 3.500 kg/ha e 4.967,48 kg/ha. Já no ano de 2011 os resultados, para o rendimento de grãos foram 5.443,63 kg/ha (rendimento de grãos do experimento observado) e 5.426,26 (rendimento de grãos do experimento simulado).

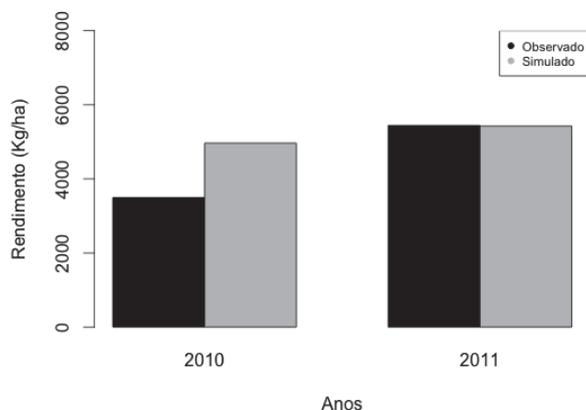


Figura 18 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 276.

Na Figura 19 são mostrados os resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS Louro. No ano de 2010 obteve-se um valor de rendimento de grãos do experimento observado de 3.643 kg/ha, sendo para o experimento simulado de 4.983,30 kg/ha. Em 2011, os resultados obtidos foram de 5.329,03 (rendimento de grãos do experimento observado) e 5.487,28 (rendimento de grãos do experimento simulado).

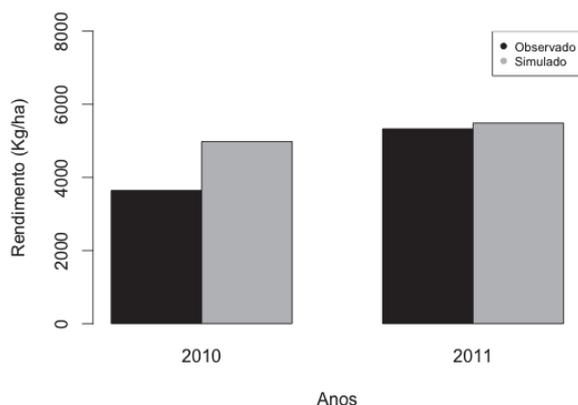


Figura 19 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS Louro.

Para a cultivar de trigo Guabijú (Figura 20), obteve-se para o ano de 2010 o rendimento de grãos do experimento observado de 3.289 kg/ha. Já o valor obtido no experimento simulado foi de 4.290,61 kg/ha. Em 2011, os rendimentos de grãos, experimentos observados e experimentos simulados foram, respectivamente, 4.201,08 kg/ha e 4.804,76 kg/ha.

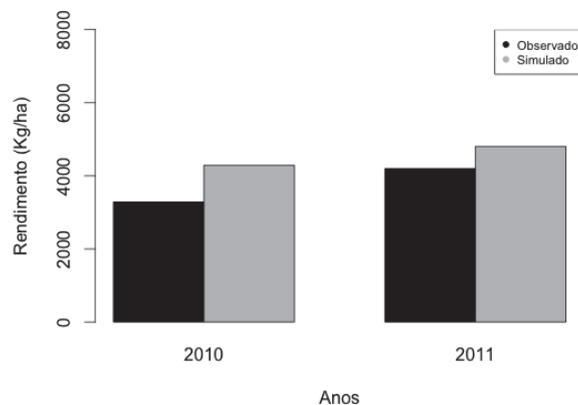


Figura 20 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Guabijú.

Para a cultivar de trigo Guamirim, os resultados obtidos de rendimentos de grãos, dos experimentos observados e simulados, são mostrados na Figura 21. No ano de 2010, obteve-se 2.869 kg/ha (rendimento de grãos do experimento observado) e 5.247,72 kg/ha (rendimento de grãos do experimento simulado). No ano de 2011, o rendimento de grãos do experimento observado foi de 5.796,26 kg/ha e o rendimento de grãos do experimento simulado de 5.836,45 kg/ha.

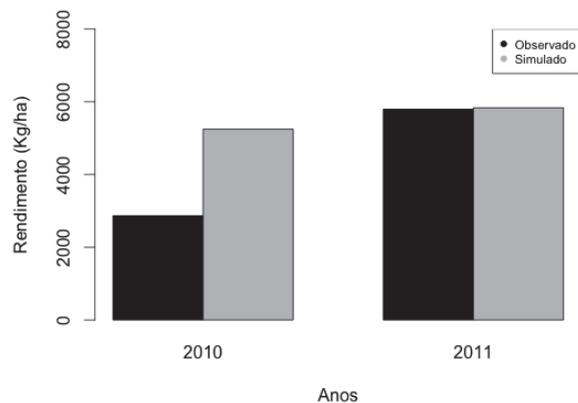


Figura 21 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Guamirim.

Em relação à cultivar de trigo Timbaúva, os resultados do rendimento de grãos dos experimentos observado e simulado são mostrados na Figura 22. Obteve-se para o ano de 2010, 3.189 kg/ha (rendimento de grãos do experimento observado) e 5.716,67 kg/ha (rendimento de grãos do experimento simulado). No ano de 2011, obtiveram-se os valores 5.945,86 (rendimento de grãos do experimento observado) e 5.977,70 (rendimento de grãos do experimento simulado).

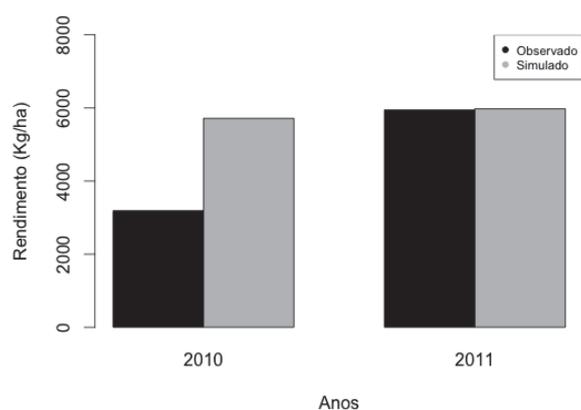


Figura 22 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo Timbaúva.

Finalmente, com relação aos resultados obtidos para a cultivar de trigo BRS 296 (Figura 23), no ano de 2010, os rendimentos de grãos, experimento observado e experimento simulado, alcançaram os seguintes índices: 3.746 kg/ha e 5.480,50 kg/ha. Em 2011, obteve-se 6.270,04 kg/ha como rendimento e grãos do experimento observado e 6.264,72 kg/ha como valor de rendimento de grãos do experimento simulado.

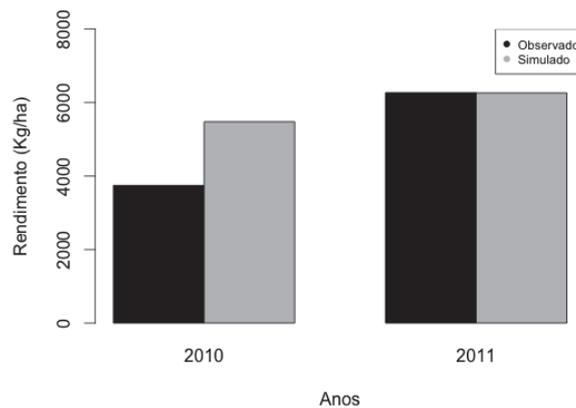


Figura 23 - Gráfico que mostra os resultados dos experimentos, simulados e observados, anos 2010 e 2011, do rendimento de grãos para a cultivar de trigo BRS 296.

#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, em relação aos estádios da fenologia do trigo (duplo anel, espiguetas terminal, antese e maturação fisiológica), demonstraram que a calibração do modelo *Cropsim-Wheat* pode ser realizada ajustando os valores dos coeficientes das variáveis das cultivares. As variáveis são: P1 – duração do final da

fase juvenil para a fase de espiguetas terminal; P2 – duração da fase de espiguetas terminal para pseudocaule; P3 – duração da fase de pseudocaule ereto terminando com o crescimento da folha; P4 – duração da fase do crescimento da folha até o pico do crescimento da planta; P5 – duração do pico do crescimento da planta até a antese; P6 – duração da fase de antese.

Dentre as variáveis, a mais influente, cuja alteração de seu coeficiente de valor interferiu em todos os estádios da fenologia da planta, foi a P1 (duração do final da fase juvenil para a fase de espiguetas terminal). Nesse caso, sugere-se que esta seja a primeira variável a ter o coeficiente ajustado em calibrações futuras, para, após, ajustar os coeficientes das outras variáveis que influenciam no desenvolvimento da planta (P2, P3, P4, P5 e P6).

Verificou-se que a cultivar de trigo BRS 177 foi a que obteve os menores valores de erros na calibração efetuada. Em contraponto, a cultivar de trigo Guamirim foi a que teve os maiores valores de erros na calibração efetuada.

Há que se destacar, que, como trabalho futuro, seria interessante testar tecnologias, como por exemplo redes neurais (SIMON, 2000) e algoritmos genéticos (GOLDBERG, 1988), que permitem otimizar os valores dos coeficientes das variáveis, de forma a encontrar um melhor ajuste. Desta forma, poder-se-ia estimar o ganho esperado do ajuste e verificar a sua contribuição.

Os valores de rendimento de grãos obtidos para as cultivares de trigo dos experimentos simulados, no ano de 2011, foram maiores que os valores obtidos para o ano de 2010. Essa

situação, também ocorreu com os resultados de rendimentos de grãos dos experimentos observados.

O modelo *Cropsim-Wheat* possibilita relacionar as cultivares ao seu ecotipo. Dessa forma, na realização da calibração foi possível, baseado no tamanho da planta e na área foliar, criar um ecotipo de acordo com as características da cultivar. Essa situação foi aplicada para a cultivar de trigo Guamirim e esse tipo de calibração possibilitou um melhor ajuste no rendimento de grãos. Como ilustração, ao realizar a simulação com o ecotipo que caracteriza a planta (BRWH02), obtiveram-se os valores de rendimento de grãos de 5.247,72 kg/ha (2010) e 5.836,45 (2011). Caso a simulação ocorresse com o ecotipo das outras cultivares (BRWH01) os valores seriam: 5.176,53 kg/ha (2010) e 5.711,02 kg/ha (2011).

As condições iniciais do solo (água, amônio e nitrato) constituem-se como fatores de configurações do modelo *Cropsim-Wheat* que interferem no rendimento final de grãos da cultura do trigo. Em testes realizados onde se alteravam as condições iniciais do solo observou-se influência no rendimentos de grãos resultante.

O baixo rendimento de grãos da cultivar Guamirim nos dados observados do ano de 2010 pode ser explicado pela colheita tardia. A colheita foi realizada em 18/11/2010 e o início da maturação fisiológica foi em 25/09/2010, tendo recebido chuvas em espera.

Também se realizaram simulações alterando as condições iniciais do resíduo da matéria orgânica. Os valores iniciais eram de 3.000 kg/ha de matéria orgânica e 0,53 kg/ha de nitrogênio. No entanto, para o cenário simulado (1.000 kg/ha de matéria orgânica e

0,27 kg/ha de nitrogênio), não se verificou alteração no resultado final do rendimento de grãos para as oito cultivares de trigo testadas.

Um fator identificado como influente no resultado da variável rendimento de grãos foi o nitrogênio. Em simulações realizadas com diferentes valores de nitrogênio, tanto a quantidade usada na adubação de base, quanto na adubação cobertura, influenciaram diretamente o rendimento final das cultivares. Quando se aumentou os valores do nitrogênio, foram alcançados melhores rendimentos de grãos. Quando os valores de nitrogênio foram menores, também menor foi o rendimento de grãos.

Também em relação ao nitrogênio, pode-se observar que, no ano de 2011, ocorreu um maior déficit deste componente, enquanto que em 2010 o déficit foi menor. Isso pode ter ocorrido em decorrência das diferenças das condições meteorológicas dos anos, principalmente em relação à precipitação, conforme mostra a Figura 24.

No ano de 2010 ocorreu uma menor precipitação pluvial nos meses de julho e agosto, em relação ao ano de 2011, sendo, respectivamente, 212,6 mm e 29,6 mm acumulados no mês. Já em 2011, a precipitação acumulada para os meses de julho e agosto foi, respectivamente, 304,6 mm e 216,2 mm. Esses meses corresponderam ao período fenológico da planta, entre a espiguetta terminal e o final do surgimento das folhas, conforme resultados obtidos dos estádios do desenvolvimento da planta. Esses também foram os períodos com maior déficit de nitrogênio e menor área foliar gerado pelo modelo *Cropsim-Wheat*. Essas informações indicam que o modelo *Cropsim-*

*Wheat* deve estar computando perda de nitrogênio por lixiviação, tendo por consequência um valor menor no rendimento final de grãos.

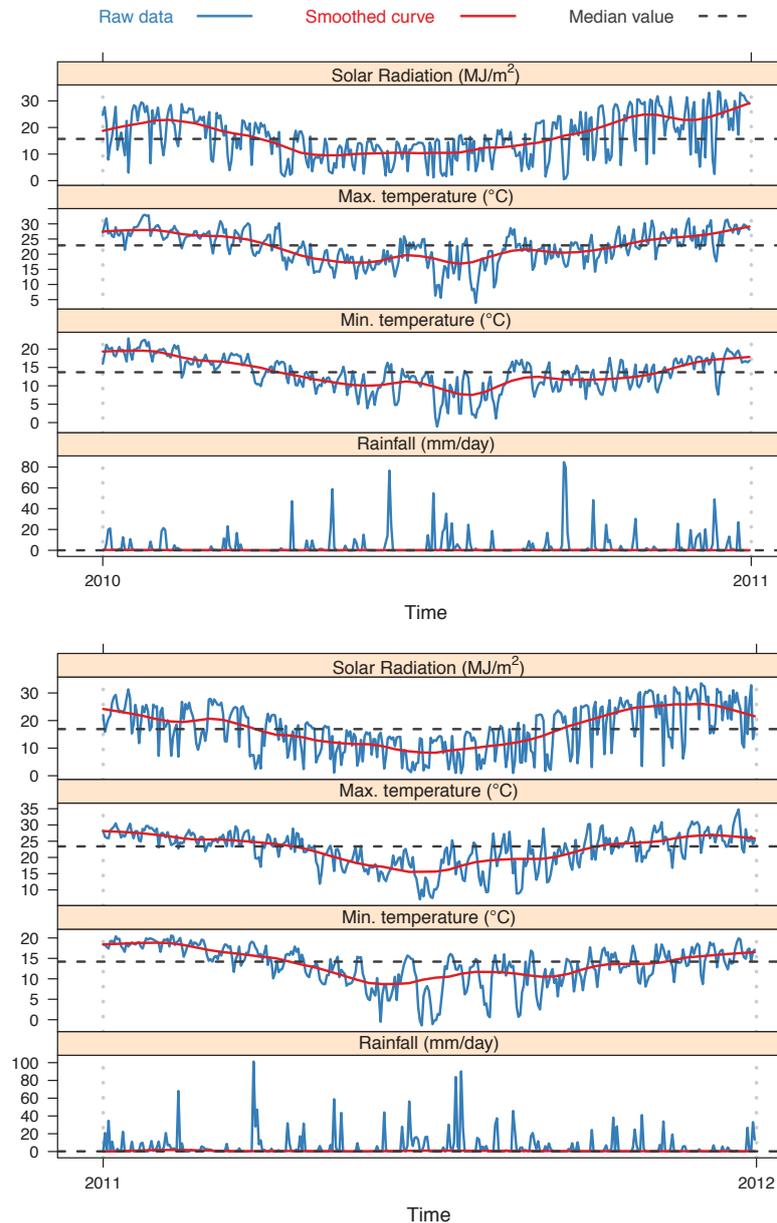


Figura 24 - Gráfico que representa as condições meteorológicas (radiação solar global, temperaturas do ar – máximas e mínimas – e precipitação pluvial) dos anos de 2010 e 2011, usadas nos experimentos simulados.

Para testar a hipótese de perda de nitrogênio por lixiviação, foram criados dois cenários meteorológicos. No Cenário 1 usou-se os dados meteorológicos de 2011. No Cenário 2, usou-se 50% da precipitação do Cenário 1. Na Tabela 6, são mostrados os valores de déficit de nitrogênio (%) e a área foliar (cm<sup>2</sup>) da cultivar de trigo BRS 177. Portanto, seria interessante realizar experimentos de campo que efetivassem medidas de perda de nitrogênio por lixiviação para poder comparar os resultados com os resultados do modelo *Cropsim-Wheat*.

Tabela 6 - Tabela que mostra os estádios fenológicos gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat* e seus respectivos valores de área foliar e déficit de nitrogênio.

Estádio Fenológico	Área foliar	Área foliar	Déficit N	Déficit N
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
Germinação	0	0	0,02	0
Espigueta Terminal	2,61	2,82	0,20	0,05
Pseudo Caule	3,61	4,24	0,25	0,12
Final colocação de folhas	3,72	5,01	0,25	0,17
Surgimento das anteras	3,31	4,47	0,23	0,17
Antese	3	4,11	0,23	0,17
Final antese	2,92	4,03	0,22	0,17
Início enchimento de grãos	2,63	3,67	0,32	0,18
Final enchimento de grãos	0,64	0,95	0,36	0,19

Para os experimentos simulados, verificou-se que a data de início da simulação interfere nos resultados da variável rendimento de grãos. Realizou-se uma simulação, para o ano de 2010, alterando a data de início da simulação para dia 17/05, onde ocorreu precipitação pluvial de 20,8 mm. Para a cultivar de trigo BRS 177, esta simulação mostrou aumento no rendimento de grãos, de 5.199,13 kg/ha para 5.590,11 kg/ha. No ano de 2011, alterando a data de início da simulação para 10/05, quando ocorreu uma precipitação pluvial de 58,8 mm, e realizando a simulação, obteve-se a diminuição do rendimento final de grãos de 5.595,76 kg/ha para 5.361,85 kg/ha. Esse

fato pode ser explicado em razão de o ano de 2011 ter sido mais chuvoso que o ano de 2010, comprovando a tese de perda por lixiviação.

Também, foram rodados os experimentos, para os anos de 2010 e 2011, informando ao modelo *Cropsim-Wheat*, em seu parâmetro de controle do nitrogênio, que não haveria ocorrência de déficit de nitrogênio. Dessa forma, os resultados mostraram que o ano de 2011 teve rendimentos superiores ao ano de 2010, da mesma forma que ocorreu com os dados observados no campo, conforme mostra a Figura 25.

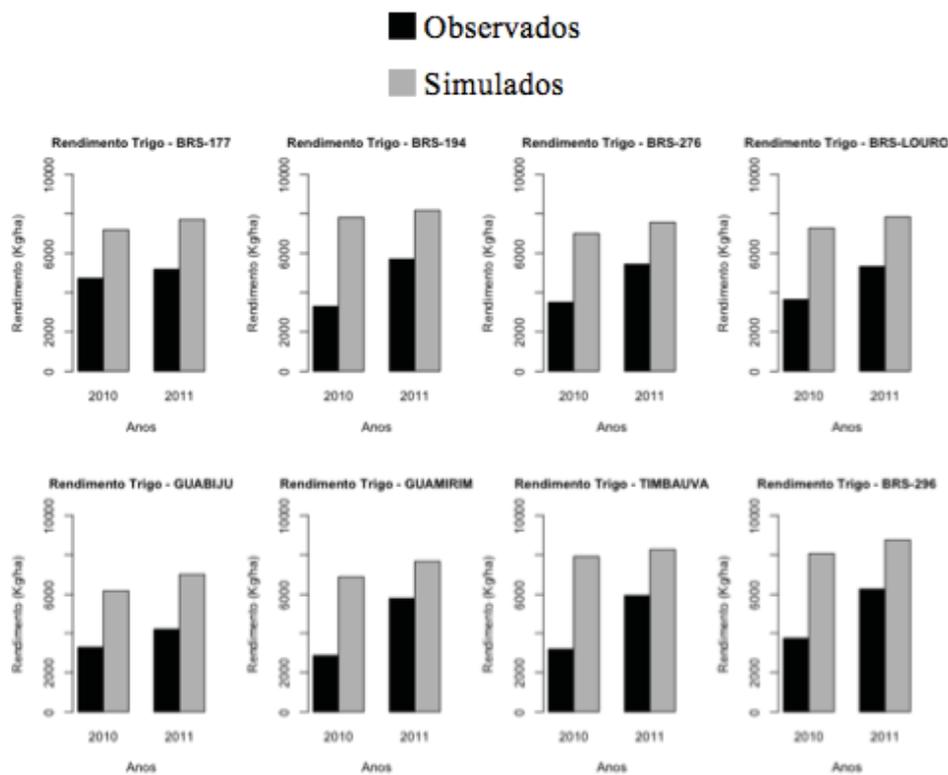


Figura 25 - Resultados da simulação realizada com o modelo *Cropsim-Wheat*, para os anos 2010 e 2011, sendo que a variável de controle do nitrogênio indica que não houve déficit.

Cabe salientar, a importância de se ter recursos tecnológicos que permitam o trabalho com dados e a realização das simulações de forma a testar diferentes configurações do modelo e cenários de dados. A utilização do banco de dados AgroDB (Capítulo 1), com sua integração com o modelo *Cropsim-Wheat*, possibilitou a realização de simulações com diversos cenários, associados a diferentes conjuntos de dados. Também possibilitou a integração com tecnologias que deram suporte para as análises dos resultados gerados pelo simulador, como por exemplo a linguagem R (R PROJECT, 2012).

## 5 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos com os dados dos experimentos observados e experimentos simulados, observou-se que o modelo *Cropsim-Wheat* pode ser calibrado de maneira a simular os estádios fenológicos de cultura do Trigo. Essa calibração é realizada, basicamente, por meio do ajuste dos valores dos coeficientes das variáveis que caracterizam as cultivares de trigo do modelo *Cropsim-Wheat*.

Em relação ao rendimento de grãos, a sua calibração depende de diversos fatores como as condições iniciais do solo e da data de início da simulação, as variáveis das cultivares, os ecotipos, a matéria orgânica do solo no início da simulação e as condições meteorológicas. Portanto, para poder realizar uma calibração mais precisa para a variável rendimento de grãos, necessita-se que os dados

dos experimentos de campo sejam um espelho detalhado dos experimentos simulados. Além disso, seria interessante ter um estudo detalhado sobre o método de uso do nitrogênio no modelo *Cropsim-Wheat*.

### CAPÍTULO III

## POTENCIAL IMPACTO DE MUDANÇA DO CLIMA NO RENDIMENTO DE GRÃOS E NA SEVERIDADE DA GIBERELA EM TRIGO NO PARANÁ

Alexandre Tagliari Lazzaretti

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

Universidade de Passo Fundo

C,P, 611, 99001-970

**RESUMO** - Este trabalho identifica e analisa impactos de mudanças do clima no rendimento de grãos e na severidade da giberela, doença causada por *gibberella zeae* na cultura do trigo. Com o uso do modelo *Cropsim-Wheat*, foram simulados experimentos para 27 locais do estado do Paraná. A cultivar de trigo usada nas simulações foi a BRS Louro, com cinco épocas de semeadura. A pesquisa correspondeu um período de trinta anos, de 1980 a 2009, com dados meteorológicos observados (*baselines*) para cada local, e comparados com um período igualmente de 30 anos, para o período de 2070 a 2099, dessa vez de prognósticos meteorológicos, fornecidos pela NASA (*National Aeronautics Space Administration*). São 16 *ensembles* (execuções do modelo) de prognósticos de dados meteorológicos gerados para cada local, de acordo com o cenário de mudanças climáticas A2 do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Identificou-se que cenários de mudança do clima ocasiona impactos positivos no

rendimento de grãos e encurtam o ciclo da cultura do trigo. No entanto, também ocorre um impacto negativo em termos sanitários, elevando a severidade da doença giberela. Os resultados alertam para a preocupação com a qualidade do trigo produzido e em relação à métodos de controle da doença.

Palavras-chave: AgroDB, Cropsim-Wheat, *Gibberella zeae*.

**POTENTIAL IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON  
YIELD AND THE SEVERITY OF GIBBERELA IN WHEAT IN  
PARANÁ**

**ABSTRACT** - This paper identifies and analyzes potential impacts of global climate change on yield and the severity of gibberella, disease caused by *Gibberella zeae*, in wheat crop. Using the crop model Cropsim-Wheat, experiments were simulated for 27 locations in the state of Paraná. The wheat cultivar used in the simulations was the BRS Louro, with five sowing dates. We used 30 years from 1980 to 2009, observed climate data (baselines) for each location, and compared with 30 years, from 2070 to 2099, data from weather forecasts, generated by NASA (National Aeronautics Space Administration). There are 16 ensembles (execution of model) of prognostics climate data, generated for each location, according to the climate change scenario A2 of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The results showed that global climate change scenarios impacted positively on grain yield and shortened the cycle of wheat. However, it also occurs a negative impact phytosanitary, increasing the severity of disease. The results emphasize the concern about the quality of wheat produced and in relation to methods of disease control.

**Keywords:** AgroDB, Cropsim-Wheat, *Gibberella zeae*.

## 1 INTRODUÇÃO

O assunto mudança do clima global tem ganhado importância nos mais diversos segmentos da sociedade. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera tem causado significativas alterações no clima, agravando o efeito que é particularmente chamado de aquecimento global. Atividades antrópicas são as maiores causadoras do aumento da emissão desses gases de estufa para a atmosfera. Os principais gases causadores do efeito estufa são CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano) e o N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), dos quais o mais importante é o dióxido de carbono. Sua concentração aumentou de um valor pré-revolução industrial de 280 ppm (partes por milhão) para 379 ppm em 2005. A taxa de aumento da concentração de dióxido de carbono, entre 1995 e 2005, foi de 1,9 ppm por ano (IPCC, 2007).

Com o objetivo de estudar o clima atual e os cenários futuros de mudança do clima, em 1988 criou-se o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), cujo o conceito de mudanças climáticas refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo que se deva à variabilidade natural ou seja decorrente da atividade humana (IPCC, 2007).

Uma das principais contribuições do IPCC foi a divulgação de um conjunto de cenários de emissão de gases de efeito estufa, no ano de 2000, por meio do *Special Report Emissions Scenarios* (SRES), sendo considerados para a classificação os fatores: demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudança tecnológica,

além da interação entre tais fatores (GHINI et al., 2007). Foram criadas quatro famílias de cenários: A1, A2, B1 e B2, sendo, a família A1 subdividida em três grupos: A1F1, A1T e A1B, caracterizados pelo desenvolvimento alternativo de energias e tecnologias (IPCC SRES, 2000).

Estudos com modelos climáticos de circulação global (*Global Circulation Models - GCMs*) têm gerado a maioria das informações sobre mudança do clima global. Esses modelos são complexas representações matemáticas dos processos que influenciam o clima, como por exemplo, interações entre superfícies e atmosfera terrestre para atingir efeitos topográficos, as correntes oceânicas e geleiras. Simulam distribuições de variáveis como temperatura do ar, vento, nebulosidade e chuva. Tais mecanismos têm auxiliado na simulação do clima, entretanto, existe um grau elevado de incerteza quando se refere às projeções climáticas futuras (MORAES et al., 2011).

O trigo (*Triticum aestivum*), entre as culturas produtoras de grãos existentes, destaca-se como um alimento importante para a humanidade, sendo cultivado em várias partes do mundo. Apesar da capacidade de adaptação a ambientes com características climáticas bastante diferentes, tanto o rendimento de grãos quanto a qualidade do produto colhido são influenciados pelas condições meteorológicas (CUNHA et al., 2011a).

No Brasil, os três estados do sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, são responsáveis por 90% da produção nacional de trigo. Nessa região, a variabilidade climática é expressiva tornando

a cultura do trigo suscetível à ocorrência de doenças, dentre elas a giberela (CASA & JUNIOR, 2011).

A giberela, também conhecida como fusariose, afeta as espigas de trigo e de outros cereais de inverno como cevada, triticale, centeio, além das panículas em aveia. Causa prejuízos econômicos, sociais e de saúde humana e animal, devido à redução de rendimento de grãos e de qualidade dos mesmos e seus derivados. No Brasil, os danos estimados em trigo variam de 14% (REIS et al., 1996) a aproximadamente 60% (LIMA et al., 2006). Além disso, o acúmulo de micotoxinas liberadas pelo fungo, dentre elas a Deoxinivalenol (DON), podem ser prejudiciais à saúde de seres humanos e animais.

Dada a importância das condições meteorológicas para a agricultura, estima-se que qualquer mudança no clima implica em alterações no zoneamento agrícola e nas técnicas de manejo de cultivo. Nesse contexto, a realização de simulações com cenários de mudança do clima global e análises exploratórias de resultados são importantes, pois permitem uma estimativa de possíveis impactos e tendências futuras, permitindo planejamentos prévios no sentido de minimizar perdas e danos.

Dessa forma, este trabalho se justifica pelo fato de, até o momento, não haver nenhum estudo na literatura e pela cultura do trigo ser economicamente importante no cenário mundial e brasileiro, além da giberela ser considerada uma das doenças que mais causa danos na região sul do Brasil em razão da frequência de ocorrência, intensidade e dificuldade de controle.

Portanto, tendo em vista a importância da cultura do trigo, a severidade da giberela e tendências de ocorrência de mudança do

clima global, este trabalho tem como objetivo estimar impactos potenciais de mudança do clima global no rendimento de grãos e severidade da giberela na cultura do trigo no estado do Paraná.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Simulações realizadas (experimentos)

Como recurso tecnológico para a realização de simulações e para o gerenciamento de dados, foi usado o banco de dados AgroDB e a sua integração com o modelo de simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo *Cropsim-Wheat* (Capítulo I).

Para avaliar o impacto das mudanças do clima global, em relação ao rendimento de grãos e à severidade da giberela em trigo, foram simulados 54 experimentos, divididos entre dados meteorológicos de prognósticos (GCMs) e dados meteorológicos observados (*baselines*), para 27 locais do estado do Paraná (Tabela 1). As série histórica de dados meteorológicos foi fornecida pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).

Foram simulados sessenta anos, correspondendo aos períodos entre o ano de 1980 e 2009 e entre os anos 2070 e 2099. Para a realização da análise dos resultados, os anos foram divididos em décadas: 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2070-2079, 2080-2089 e 2090-2099.

A cultivar de trigo usada nos experimentos foi a BRS Louro, cuja escolha se deu pelo fato da mesma ser indicada para cultivo nos locais selecionados e seus coeficientes genéticos estarem

calibrados com o modelo de simulação do crescimento do trigo *Cropsim-Wheat* (Capítulo II).

Tabela 1 - Locais usados nas simulações de mudanças climáticas globais com as suas coordenadas de localização (Latitude, Longitude e Altitude).

<b>Locais</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Longitude (W)</b>	<b>Altitude (m)</b>
Apucarana	-23,3000	-51,3200	746
Bandeirantes	-23,6000	-50,2100	440
Bela Vista do Paraíso	-22,9967	-51,1906	600
Cambará	-23,0000	-50,2000	450
Cascavel	-24,5600	-53,2600	760
Cerro Azul	-24,9356	-49,0679	360
Cianorte	-23,4000	-52,3500	530
Clevelândia	-26,2500	-52,2100	930
Fernandes Pinheiro	-25,2700	-50,3500	893
Francisco Beltrão	-26,0698	-53,0533	650
Guaraqueçaba	-25,1600	-48,3200	40
Guarapuava	-25,2100	-51,3000	1058
Ibipora	-23,1600	-51,1000	484
Joaquim Távora	-23,5053	-49,9464	512
Laranjeira do Sul	-25,2500	-52,2500	880
Londrina	-23,2200	-51,1000	585
Morretes	-25,3000	-48,4900	59
Nova Cantu	-24,4000	-52,3400	540
Palmas	-26,2900	-51,5900	1100
Palotina	-24,1800	-53,5500	310
Paranavaí	-23,5000	-52,2600	480
Pato Branco	-26,2381	-52,6791	700
Pinhais	-25,2500	-49,8000	930
Planalto	-25,4200	-53,4700	400
Ponta Grossa	-25,1300	-50,1000	880
Quedas do Iguaçu	-25,3100	-53,1000	513
Telemaco Borba	-24,2000	-50,3700	768

Os dados de solo, para cada local em que foram rodadas as simulações, com as variáveis de entrada necessárias para execução do modelo de simulação *Cropsim-Wheat* (Tabela 2), foram fornecidos pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná). Os dados foram agrupados por camadas de profundidade de solo, utilizando a unidade de medida centímetros, sendo elas: 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm e 120 cm.

Tabela 2 - Variáveis de solo usadas nas simulações das mudanças climáticas globais, fornecidas pelo IAPAR, correspondentes às camadas: 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100, 120 cm.

<b>Descrição da variável</b>	<b>Sigla</b>
cor do solo (sistema Munsell de cores)	SCOM
albedo	SALB
base de saturação, $\text{cmol kg}^{-1}$	SLBS
taxa de drenagem, fração $\text{dia}^{-1}$	SLDR
runoff	SLRO
fator de mineralização, escala de 0 a 1	SLNF
fator fotossintético, escala de 0 a 1	SLPF
pH em buffer código do método de determinação	SMHB
código de determinação do fósforo	SMPX
código do método de determinação do potássio	SMKE
Horizonte A	SLMH
limite inferior, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	SLLL
limite superior, drenagem, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	SDUL
limite superior, saturação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	SSAT
fator de crescimento da raiz, 0.0 a 1.0	SRGF
sat. condutividade hidráulica, macroporos, $\text{cm h}^{-1}$	SSKS
densidade, $\text{g cm}^{-3}$	SBDM
carbono orgânico, %	SLOC
argila (<0.002 mm), %	SLCL
silte (0.05 a 0.002 mm), %	SLSI
Fração grossa (>2 mm), %	SLCF
nitrogênio total, %	SLNI
pH na água	SLHW
pH em buffer	SLHB
capacidade de exportação de cations, $\text{cmol kg}^{-1}$	SCEC
coeficiente de adsorção	SADC

Para cada experimento foram simuladas cinco épocas de semeadura, de acordo com o período estabelecido pelo zoneamento agrícola e época de semeadura de trigo no Brasil (CUNHA et al., 2001). As localidades e as épocas de semeadura usadas foram: Apucarana: 11/6, 16/6, 21/6, 26/6, 1/7; Bandeirantes: 21/3, 2/4, 14/4, 26/4, 8/5; Bela Vista do Paraíso: 11/3, 23/3, 4/4, 16/4, 28/4; Cambará: 11/3, 23/3, 4/4, 16/4, 28/4; Cascavel: 11/5, 15/5, 19/5, 23/5, 27/5; Cerro Azul: 11/5, 17/5, 23/5, 29/5, 4/6; Cianorte: 1/5, 13/5, 25/5, 6/6, 18/6; Clevelândia: 21/6, 26/6, 1/7, 6/7, 11/7; Fernandes Pinheiro:

11/6, 17/6, 23/6, 29/6, 5/7; Francisco Beltrão: 20/5, 28/5, 5/6, 13/6, 21/6; Guaraqueçaba: 11/5, 17/5, 23/5, 29/5, 4/6; Guarapuava: 21/6, 26/6, 1/7, 6/7, 11/7; Ibipora: 21/3, 2/4, 14/4, 26/4, 8/5; Joaquim Távora: 21/3, 2/4, 14/4, 26/4, 8/5; Laranjeiras do Sul: 11/6, 16/6, 21/6, 26/6, 1/7; Londrina: 21/3, 2/4, 14/4, 26/4, 8/5; Morretes: 11/5, 17/5, 23/5, 29/5, 4/6; Nova Cantu: 11/5, 17/5, 23/5, 29/5, 4/6; Palmas: 1/7, 5/7, 9/7, 13/7, 17/7; Palotina: 21/3, 25/3, 29/3, 2/4, 6/4; Paranavai: 11/5, 17/5, 23/5, 29/5, 4/6; Pato Branco: 21/5, 29/5, 6/6, 14/6, 22/6; Pinhais: 21/3, 25/3, 29/3, 2/4, 6/4; Planalto: 21/5, 27/5, 2/6, 8/6, 14/6; Ponta Grossa: 11/6, 17/6, 23/6, 29/6, 5/7; Quedas do Iguaçu: 21/5, 27/5, 2/6, 8/6, 14/6; Telemaco Borba: 1/5, 13/5, 25/5, 6/6, 18/6.

Para cada tratamento, a simulação com o modelo *Cropsim-Wheat* iniciou quarenta dias antes da semeadura. A configuração dos parâmetros de controle do *Cropsim-Wheat* foi: controle de nitrogênio = 'Y', indicando que pode ocorrer déficit de nitrogênio; controle da água = 'Y', indicando que pode ocorrer déficit hídrico; doença = 'N', indicando que não estão sendo contabilizadas doenças.

Para todos os experimentos simulados pelo modelo *Cropsim-Wheat*, foi informada a quantidade de matéria orgânica existente no solo no início da simulação, sendo o valor de 3.000 kg/ha.

As condições iniciais do solo utilizadas, correspondendo água -  $\text{SH}_2\text{O}$ , amônio -  $\text{SNH}_4$  e nitrato -  $\text{SNO}_3$ , por camada, são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Condições iniciais do solo, usadas nos experimentos, por camada (icbl), especificando a quantidade de água (sh2o), amônio (snh4) e nitrato (sno3).

ICBL	SH <sub>2</sub> O	SNH <sub>4</sub>	SNO <sub>3</sub>
10	0.41	6.8	19.6
20	0.34	6.4	14.6
40	0.184	5	10.2
70	0.13	4.4	9.4
100	0.122	5.4	8.6

## 2.2 Dados Meteorológicos

Para cada local foram utilizadas duas séries históricas de dados meteorológicos, com a trinta anos cada série. A primeira série histórica representa os dados meteorológicos observados, entre os anos de 1980 e 2009, denominado *baselines*. A segunda série histórica representa os dados meteorológicos de prognósticos, correspondendo os anos entre 2070 a 2099, denominado GCMs (*Global Circulation Models*).

As variáveis meteorológicas usadas foram: temperatura máxima do ar - TMAX (°C), temperatura mínima do ar - TMIN (°C), radiação solar global - SRAD (Mj/m<sup>2</sup>), precipitação pluvial - RAIN (mm), umidade relativa do ar - RHUM (%), concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera - CO<sub>2</sub> (ppm).

Os dados meteorológicos observados (*baselines*), foram fornecidos pelo IAPAR. Os dados meteorológicos dos prognósticos - GCMs, foram fornecidos pela *National Aeronautics Space Administration* (NASA) e correspondem a 16 (dezesseis) *ensembles*<sup>1</sup>, para cada local. Esses dados foram gerados com base nos dados dos *baselines*, representando o cenário A2 (faixa provável de mudança da

<sup>1</sup> Um conjunto de *ensembles* caracteriza várias execuções de um mesmo modelo, com condições iniciais diferentes.

temperatura do ar entre 2°C a 5,4°C), final do século XXI (ano de 2100), do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

Na Tabela 4 são mostradas por década a temperatura média do ar e a precipitação pluvial média acumulada dos dados meteorológicos de prognósticos para as localidades simuladas.

Tabela 4 - Temperatura média do ar nas décadas para as localidades simuladas e precipitação pluvial acumulada nas décadas para as localidades simuladas, caracterizando os dados meteorológicos usados nos experimentos simulados.

Décadas	Temperatura média do ar - (°C)	Precipitação pluvial média acumulada na década - (mm)
1980 a 1989	17,1	20.309
1990 a 1999	17,2	22.614
2000 a 2009	17,5	20.050
2070 a 2079	19,9	22.412
2080 a 2089	20,0	25.000
2090 a 2099	20,3	22.140

Para os experimentos que usaram os dados dos *baselines*, o valor de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, usado nas simulações, foi 350 ppm. Para os experimentos que usaram os dados dos GCMs, os valores de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera variaram conforme o ano que estava sendo simulado. Os anos e os valores de concentração de CO<sub>2</sub> são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações de CO<sub>2</sub> (ppm) na atmosfera, correspondendo aos anos de 2070 a 2099, usadas nos experimentos de prognósticos de clima.

Ano	CO <sub>2</sub> (ppm)
2070	620,00
2071	625,72
2072	631,54
2073	637,48
2074	643,53
2075	649,68
2076	655,94
2077	662,31
2078	668,77
2079	675,34
2080	682,00
2081	688,76

2082	695,62
2083	702,57
2084	709,62
2085	716,77
2086	724,02
2087	731,36
2088	738,81
2089	746,35
2090	754,00
2091	761,75
2092	769,59
2093	777,54
2094	785,59
2095	793,74
2096	801,99
2097	810,34
2098	818,79
2099	827,35

### 2.3 Modelo de doença - GIBSIM

Del Ponte et al.(2005) descrevem um modelo de simulação da doença giberela, o qual gera como resultado um valor de severidade da doença. Pavan (2007) realizou a implementação informatizada deste modelo, denominado "GIBSIM", por meio do modelo genérico de doenças. Essa implementação foi usada neste trabalho no sentido de calcular a severidade da doença giberela.

Para o cálculo da severidade da giberela, inicialmente foram obtidas, a partir do modelo *Cropsim-Wheat*, as datas de espigamento dos tratamentos simulados. A partir daí, foram geradas as taxas de surgimento de novas espigas, cálculo de extrusão e remoção de anteras, cálculo da nuvem de esporos da doença, cálculo da velocidade de infecção e, por fim, o cálculo da severidade da doença.

Na criação das espigas utilizou-se a equação ajustada de Weibull (1), descrita por Del Ponte et al.(2005), onde  $t$  representa o tempo de processamento (dias) e  $pNewHeads$  uma proporção de

espigas que emergiram, que é utilizada para calcular o número de novas espigas.

$$pNewHeads = 1 - \exp(-0,0127t^{2,4352}) \quad (1)$$

O cálculo de extrusão das anteras (2) segue uma outra equação de Weibull, e foi descrito por Del Ponte et al. (2005). Na equação,  $a = 0,255 - 0,029T + 0,0009T^2$ ;  $b = -5,773 + 0,966T - 0,0278T^2$ . Na equação,  $t$  representa o tempo de processamento (dias), e  $T$  indica a temperatura média diária do ar, e  $pNewHanters$  a proporção de anteras emergidas naquele dia, sendo usada para a criação dos *cohorts*<sup>2</sup> das anteras.

$$pNewAnthers = 1 - \exp(at^b) \quad (2)$$

A remoção dos *cohorts* de anteras ocorreu após estas completarem um período de dois dias com radiação solar acima de 10 MJ/m<sup>2</sup>/dia<sup>1</sup>, ou passado um período de cinco dias (DEL PONTE et al., 2005).

O cálculo da nuvem de esporos (quantidade de inóculo no ar) segue a equação (3) descrita por Del Ponte et al. (2005). Na equação,  $RH$  representa a umidade relativa média do dia em porcentagem,  $CDR$  é uma variável auxiliar que teve o seu valor definido conforme o número de dias consecutivos com precipitação pluvial acima de 0,3 mm.

$$gz = (-0,6306 + 0,0152RH + 0,1076CDR)^2 \quad (3)$$

---

<sup>2</sup> grupos de indivíduos idênticos.

A velocidade de infecção (4) foi calculada a partir de uma proporção por meio da equação (PAVAN, 2007):

$$inf = 0,0010289exp(0,1957T) \quad (4)$$

Na equação de infecção, o T é a temperatura média do ar das últimas 48 horas. A proporção gerada foi usada para calcular a proporção de anteras infectadas a cada dia. Para que a infecção ocorra, é necessário que uma combinação de fatores de umidade relativa e precipitação pluvial seja estabelecida (DEL PONTE et al., 2005):

(i) dois dias com precipitações pluvial  $\geq 0,3$  mm e umidade relativa do ar média das últimas 48 horas  $\geq 80\%$ , ou;

(ii) precipitação pluvial no dia anterior  $\geq 0,3$  mm e umidade relativa do ar média do dia  $\geq 85\%$ , ou;

(iii) precipitação pluvial  $\geq 0,3$  mm no dia corrente, com umidade relativa do ar média do dia anterior  $\geq 85\%$ .

A contabilização da infecção, ocorreu no passo diário pela equação (5):

$$dailyGib = st * gzmean * inf \quad (5)$$

onde *st* é a proporção de anteras vivas no momento da simulação, *gzmean* é a média da nuvem de esporos, *inf* é a suscetibilidade da infecção e *dailyGib* a proporção de anteras infectadas.

Por fim, para o cálculo da severidade da doença utilizou-se a equação (6) descrita por Del Ponte et al. (2005):

$$sev = 0,7442 + 1,46 * finalGib \quad (6)$$

onde: *sev* indica a severidade da doença naquele dia; *finalGib* é o somatório dos valores de giberela calculados diariamente e multiplicados por 100 (valor em porcentagem).

Del Ponte et al. (2005), descrevem quatro classes de risco de severidade de giberela estimada pelo modelo de simulação GIBSIM, são elas:

- classe 0 - não epidêmica (0 - 7);
- classe 1 - epidemia leve (7.1 - 13.4);
- classe 2 - epidemia moderada (13.41 - 19.8);
- classe 3 - epidemia severa (>19.8).

## 2.4 Metodologia de avaliação dos resultados

Na avaliação dos impactos da mudança do clima global no rendimento de grãos do trigo e na severidade da giberela, os resultados de rendimento de grãos (gerados pelo modelo *Cropsim-Wheat*) e de severidade da giberela (gerados pelo modelo GIBSIM) foram normalizados pela equação (7):

$$Z = (X - \text{mean}(X)) / s \quad (7)$$

onde *Z* indica o resultado normalizado, que é o desvio em relação a média da população; *X* é o valor obtido pelo modelo de simulação; *mean(X)* é a média aritmética dos valores de *X*; e *s* é o desvio padrão da população. Como resultados da normalização obteve-se o rendimento de grãos normalizado e a severidade de giberela normalizada.

Os valores negativos indicam que o desvio do valor normalizado foi menor que a média do valor da população. Os valores positivos indicam que o desvio do valor normalizado, foi maior que a média da população.

Os resultados e as discussões foram realizados através do comparativo entre as décadas: 1980-1989 e 2070-2079, 1990-1999 e 2080-2089, e 2000-2009 e 2090-2099. Também, identificaram-se os anos com maiores e menores valores (rendimento de grãos e severidade da giberela) nas respectivas décadas.

Foram realizadas análises usando as mesorregiões do estado do Paraná, definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), base cartográfica ITCG: (2010). As localidades e as suas respectivas mesorregiões são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Mesorregiões do estado do Paraná, definidas pelo IBGE, e as respectivas localidades. As mesorregiões foram usadas nos resultados e discussões do trabalho.

<b>Mesorregiões</b>	<b>Locais</b>
Norte Central	Apucarana, Bela Vista do Paraíso, Ibipora, Londrina
Norte Pioneiro	Bandeirantes, Cambará, Joaquim Távora
Oeste	Cascavel, Palotina,
Metropolitana	Cerro Azul, Guaraqueçaba, Morretes, Pinhais
Noroeste	Cianorte, Paranaíba,
Centro-Sul	Clevelândia, Guarapuava, Laranjeiras do Sul, Palmas, Quedas do Iguaçu
Sudoeste	Fernandes Pinheiro, Francisco Beltrão, Pato Branco, Planalto
Centro-Occidental	Nova Cantu
Centro Oriental	Ponta Grossa, Telemaco Borba

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Rendimento de grãos

O valor da média do rendimento de grãos para a população encontrado foi de 5079,44 kg/ha. Já o valor do desvio padrão da população do rendimento de grãos foi de 1921,61 kg/ha. Esses valores foram usados para o cálculo do rendimento de grãos normalizado.

Na Tabela 7 são mostradas as médias de rendimento de grãos normalizados, para os 27 locais simulados do estado do Paraná, nas respectivas décadas.

Tabela 7 - Valores médios de rendimentos de grãos de trigo normalizados, para os 27 locais simulados no estado do Paraná, nas respectivas décadas.

Locais	Décadas					
	1980- 1989	2070- 2079	1990- 1999	2080- 2089	2000- 2009	2090- 2099
Apucarana	-0,1937	-0,3114	-0,3907	-0,6250	0,2644	0,3164
Bandeirantes	-0,2392	-0,0125	-0,3034	0,2262	-0,6861	0,2030
Bela Vista do Paraíso	-0,2686	-0,3236	-0,3312	-0,3403	-0,9558	-0,7745
Cambará	-0,4904	-0,1032	-0,5889	0,2858	-1,4886	-0,0405
Cascavel	-0,7343	-0,7104	-0,7039	-0,2081	-0,4143	-0,0734
Cerro Azul	-1,2898	-1,0782	-1,0168	-0,5450	-0,8741	-0,3098
Cianorte	-0,5952	-0,5656	-0,6125	-0,3693	-0,2848	-0,1181
Clevelândia	0,6963	0,9662	0,4336	0,8898	0,5121	1,0164
Fernandes Pinheiro	0,6401	0,4626	0,5662	0,7132	0,7349	0,8052
Francisco Beltrão	0,2736	0,4457	0,1923	0,6502	0,1783	0,8451
Guaraqueçaba	-1,0624	-0,7017	-0,9389	-0,0275	-0,9857	-0,1276
Guarapuava	0,1083	-0,0510	-0,2610	-0,4294	0,0143	-0,1232
Ibipora	-0,5050	-0,5306	-0,4044	-0,3406	-1,0074	-0,9369
Joaquim Távora	0,1175	0,0906	0,2837	0,4149	0,2019	0,3662
Laranjeira do Sul	0,3615	0,3229	0,0576	0,3128	0,1302	0,3504
Londrina	-0,0524	-0,6938	-0,2570	-0,7117	-0,5670	-0,7900
Morretes	-1,2059	-0,8697	-1,0258	-0,1292	-1,2973	-0,1792
Nova Cantu	-0,6596	-0,4468	-0,5670	-0,0325	-0,7193	-0,1322
Palmas	-0,0389	1,0893	0,6250	0,9482	0,7327	1,1201
Palotina	-0,6628	-0,4045	-0,6230	0,0784	-0,9847	-0,0410
Paranavaí	-0,5932	-0,4495	-0,4207	-0,1254	-0,4918	-0,1120
Pato Branco	0,3616	0,5371	0,3387	0,7674	0,3654	0,8343
Pinhais	-0,2329	0,0684	-0,3327	0,3315	-0,1213	0,5773
Planalto	-0,3819	-0,4200	-0,2201	-0,1889	-0,1275	-0,0492
Ponta Grossa	-0,0641	0,0269	-0,3960	-0,0253	0,4303	0,7252
Quedas do Iguaçu	-0,7233	-0,7357	-1,1036	-0,7270	-0,4656	-0,3926
Telemaco Borba	0,1096	0,4595	0,1334	0,8389	0,0433	0,8717

Em alguns locais, os resultados de rendimento de grãos normalizados, dos experimentos utilizando os GCMs, foram menores

que os resultados dos experimentos com *baselines*. Essa situação ocorreu na mesorregião norte central, nas localidades de Apucarana e Bela Vista do Paraíso (décadas: 1980-1989 e 2070-209; 1990-1999 e 2080-2089), e Londrina em todas as décadas comparativas. Também, na região sudoeste, as localidades de Fernandes Pinheiro e Planalto, no comparativo das décadas: 1980-1989 e 2070-2079, e na região centro-sul, na localidade de Guarapuava em todas as décadas comparativas.

Na Figura 1, são mostrados os mapas hipsométricos (representação de um mapa através de cores) do estado do Paraná, comparando os resultados das médias de rendimentos de grãos normalizadas entre as décadas.

Comparando as décadas de 1980-1989 (Figura 1.a) e 2070-2079 (Figura 1.b), pode-se identificar que a mesorregião centro-sul se destaca, na década 2070-2079, com um rendimento de grãos normalizado na faixa de 0,5 a 1, chegando em algumas localidades entre 1 e 1,5. Nas mesorregiões nordeste, oeste e centro-ocidental também ocorre um aumento na produção para a década 2070-2079 em relação à década de 1980-1989, passando da faixa de valores de -1 a -0,5 para -0,5 a 0 na década de 2070-2079.

Na comparação entre as décadas 1990-1999 (Figura 1.c) e 2080-2089 (Figura 1.d), verificou-se um aumento na produção de grãos nas mesorregiões sudoeste, centro-sul e sudeste, passando da faixa de rendimento de grãos normalizado de 0 a 0,5 para a faixa de rendimento normalizado entre 0,5 e 1. Nas mesorregiões noroeste e centro-ocidental, na década de 2080-2089, os valores de rendimentos de grãos normalizados aumentaram, passando da faixa -1 a -0,5 na

década de 1990-1999, para os valores entre -0,5 a 0 na década de 2080-2089. Ocorreu um aumento do rendimento de grãos normalizado, na década de 2080-2089, para as mesorregiões norte pioneiro, centro oriental e metropolitana.

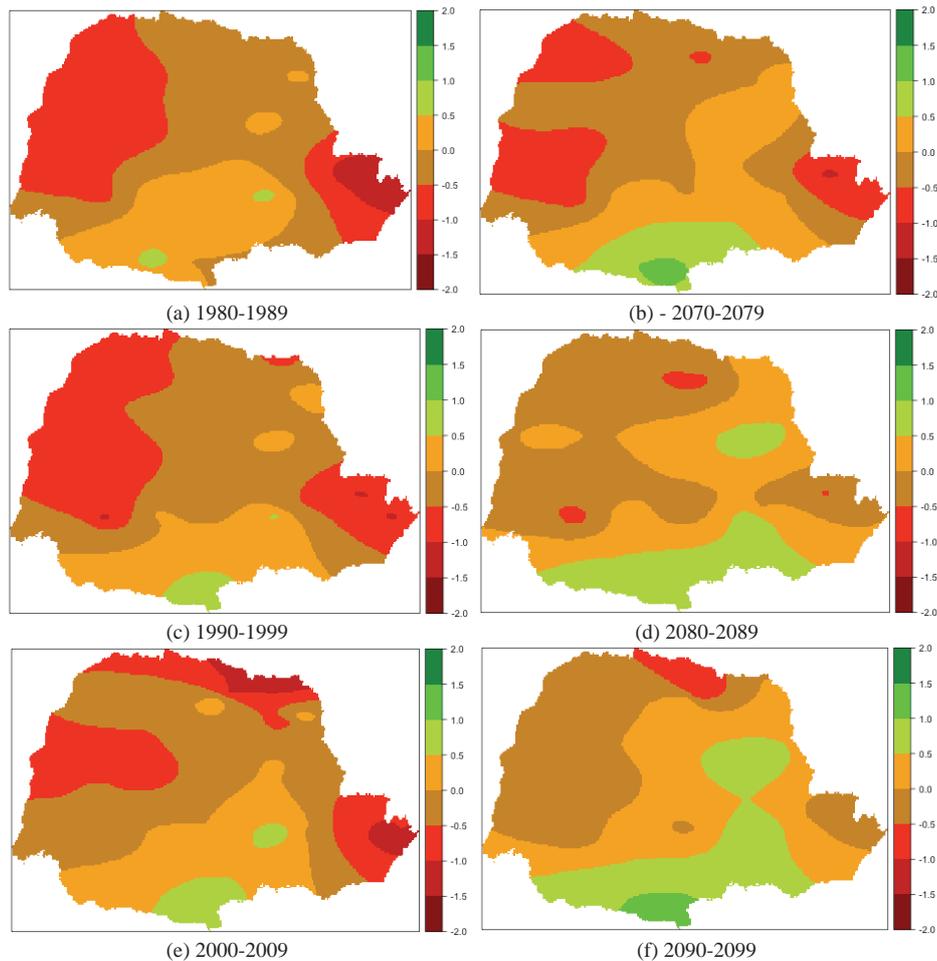


Figura 1 - Mapas hipsométricos da média dos valores normalizados de rendimento de grãos de trigo, simulados pelo modelo *Cropsim-Wheat* para o estado do Paraná, nas décadas: (a) 1980 a 1989; (b) 2070 a 2079; (c) 1990 a 1999; (d) 2080 a 2089; (e) 2000 a 2009; (f) 2090 a 2099.

Em relação às décadas de 2000-2009 (Figura 1.e) e 2090-2099 (Figura 1.f), pode-se observar que o extremo sul da mesorregião

centro-sul, onde ficam as localidades de Clevelândia e Palmas, foi a que teve o maior valor de rendimentos de grãos normalizados. Entretanto, todas as regiões na década de 2090-2099 tiveram, de uma forma geral, um aumento na produção do trigo.

De maneira a identificar na década, a Figura 2 mostra a variação anual do valores de rendimento de grãos normalizados. Na década 1980 a 1989, o melhor ano foi o de 1989, com uma média normalizada de rendimento de grãos de 0,2068. O ano que teve a média normalizada rendimento de grãos mais baixa da década, foi 1988, com o valor de -0,8552. A média da década foi -0,2823.

Em relação a década entre 1990 e 1999, o ano que teve a melhor média normalizada de rendimento de grãos foi 1990, com o valor 0,1421. No entanto, o ano que teve a média de rendimento de grãos mais baixa foi 1995, com o valor -0,8906. A média da década foi -0,2987.

Para a década de 2000 a 2009, o ano que teve a melhor média normalizada de rendimento de grãos foi 2008, sendo -0,0959. Nessa década, o ano que teve a média normalizada de rendimento de grãos mais inferior foi 2006, com um valor -0,5164, enquanto a média da década -0,2897.

Na década de 2070 a 2079, a melhor média normalizada de rendimento de grãos foi encontrada no ano de 2079, com um valor de 0,5225. Já a menor média normalizada de rendimento de grãos foi no ano de 2078, com o valor -0,7081. A média da década foi -0,1458.

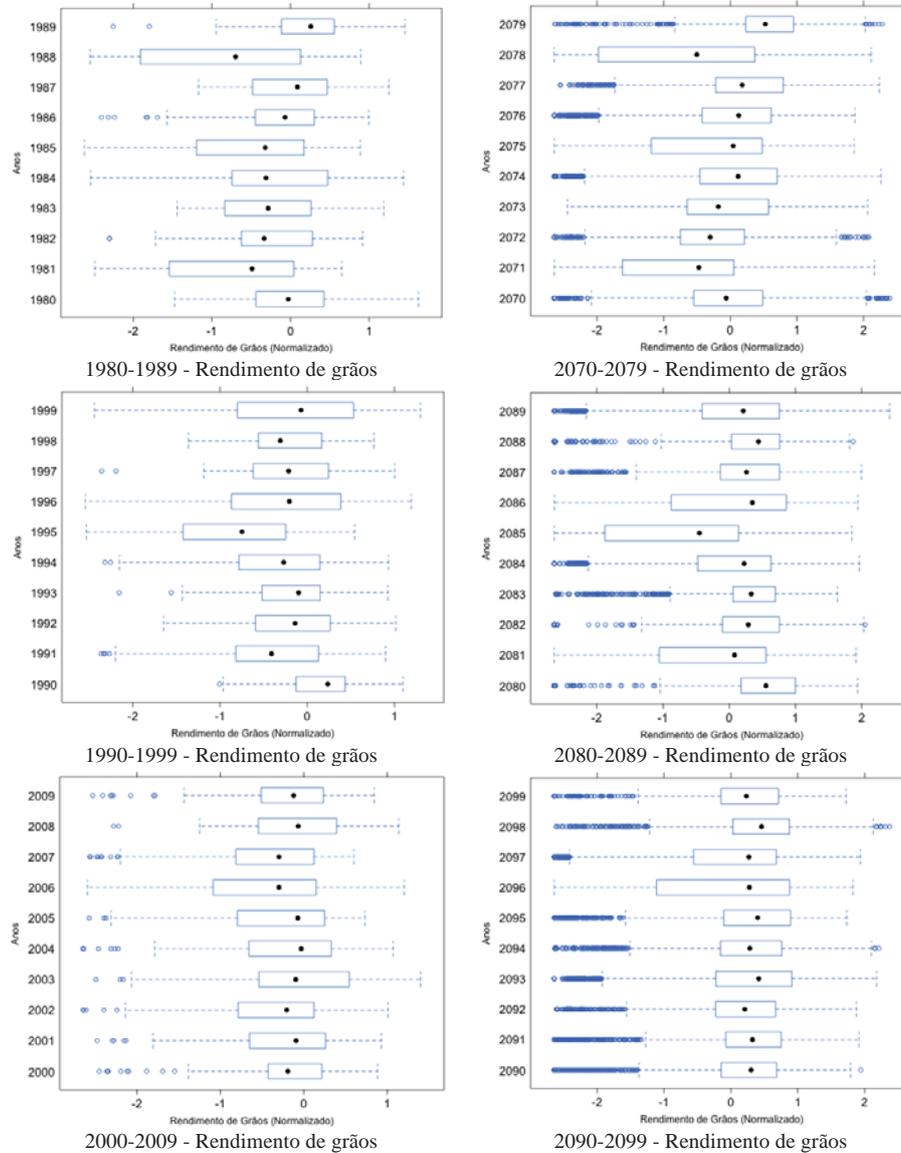


Figura 2 - Valores médios normalizados de rendimentos de grãos de trigo, mostrando a variação anual para as décadas: 1980-1998, 1990-1999, 2000-2009 (*baselines*) e 2070-2079, 2080-2089, 2090-2099 (GCMs).

Nos anos que correspondem à de 2080 e 2089, o ano que corresponde a melhor média normalizada de rendimento de grãos foi 2080, com o valor 0,5123. Já o ano que teve a média normalizada de

rendimento de grãos mais baixa foi 2085, com o valor -0,7248. O valor da média da década foi 0,0604.

Por fim, para a década entre 2090 e 2099, a melhor média normalizada de rendimento de grãos foi o ano de 2098, com o valor 0,4167. Já o ano que teve a menor média normalizada de rendimento de grãos foi 2096, com o valor -0,1273, sendo a média da década 0,1418.

Nos experimentos simulados com dados dos GCMs, observou-se um encurtamento no ciclo de desenvolvimento da cultura do trigo, em relação aos experimentos simulados com os dados dos baselines (Tabela 8). Fato justificado pelo aumento dos graus-dia em virtude do aumento da temperatura do ar. Para ilustrar essa situação, na Tabela 8, é mostrado um comparativo, em dias após o plantio (DAP), entre uma simulação realizada para a localidade de Apucarana, com data de semeadura em 01/07/1999, e uma simulação realizada para a mesma localidade e com data de semeadura em 01/07/2089.

Tabela 8 - Dados comparativos entre simulações, uma considerando a data de 01/07/1999 e outra de 01/07/2089, mostrando o número de dias após a semeadura (DAP), dos estádios fenológicos da cultura do trigo.

<b>Estádio Fenológico</b>	<b>simulação em 01/07/1999</b>	<b>simulação em 01/07/2089</b>
Duplo Anel	30 DAP	25 DAP
Espiguetta Terminal	47 DAP	39 DAP
Antese	73 DAP	63 DAP
Maturação Fisiológica	104 DAP	92 DAP

### **3.2 Severidade da giberela**

O valor da média da severidade de giberela da população foi de 5,1881 e o valor do desvio padrão da população foi de 5,2619. Esses valores foram usados para o cálculo da severidade normalizada.

Em relação aos resultados obtidos pelas simulações para a severidade da giberela, na Tabela 9 são mostradas as médias normalizadas de severidade da doença, por local, nas décadas representativas.

Tabela 9 - Médias normalizadas de severidade de giberela na cultura do trigo, por local, nas respectivas décadas.

Locais	Décadas					
	1980-1989	2070-2079	1990-1999	2080-2089	2000-2009	2090-2099
Apucarana	-0.4583	-0.0038	-0.1963	0.1830	-0.1811	0.6060
Bandeirantes	-0.7502	-0.4217	-0.6604	-0.2506	-0.6542	-0.2560
Bela Vista do Paraíso	-0.6717	-0.2237	-0.7044	-0.2561	-0.5961	-0.1869
Cambará	-0.5979	-0.1842	-0.6711	-0.2296	-0.5966	-0.2030
Cascavel	-0.5532	-0.2052	-0.5489	-0.2298	-0.4235	-0.1456
Cerro Azul	-0.2658	-0.1000	-0.3733	-0.1189	-0.0174	0.2255
Cianorte	-0.4898	-0.1373	-0.3811	-0.0715	-0.3680	-0.0775
Clevelândia	-0.2656	-0.0020	0.0552	0.6343	0.0840	0.4602
Fernandes Pinheiro	-0.3688	0.0019	0.1874	0.4979	-0.1434	0.1560
Francisco Beltrão	-0.3261	-0.0978	-0.0848	-0.0365	-0.2616	0.0117
Guaraqueçaba	-0.2122	0.0628	0.1167	0.5186	-0.0410	0.4967
Guarapuava	-0.3473	0.0756	0.3295	0.9923	-0.0085	0.3650
Ibipora	-0.6954	-0.3321	-0.6570	-0.2453	-0.6649	-0.1657
Joaquim Távora	-0.6853	-0.2191	-0.6801	-0.2545	-0.6620	-0.2919
Laranjeira do Sul	-0.3392	-0.0190	0.3388	0.5452	-0.1792	0.1892
Londrina	-0.7075	-0.3413	-0.6375	-0.3725	-0.5758	-0.1324
Morretes	0.0011	0.2576	-0.0295	0.2615	0.0193	0.4366
Nova Cantu	-0.3286	0.0552	-0.4834	-0.1988	-0.2060	0.2322
Palmas	-0.1707	-0.1941	-0.1329	0.5623	0.0875	0.8819
Palotina	-0.6227	-0.2590	-0.5385	0.0991	-0.3849	0.2494
Paranavaí	-0.4585	-0.0576	-0.5862	-0.3519	-0.4522	-0.0358
Pato Branco	-0.3903	-0.1464	-0.1367	0.0728	-0.3438	-0.0583
Pinhais	-0.6989	-0.4562	-0.7203	-0.4857	-0.7793	-0.6167
Planalto	-0.2556	0.2349	-0.3446	-0.0551	-0.3394	0.1943
Ponta Grossa	-0.3277	0.0697	0.1680	0.3745	-0.1231	0.3262
Quedas do Iguaçu	-0.3317	0.1899	-0.2430	-0.0260	0.0410	0.3533
Telemaco Borba	-0.3930	-0.2038	-0.2745	-0.1430	-0.3187	0.0605

Na Figura 3, representando os dados da Tabela 9, são mostrados os mapas hipsométricos, divididos por décadas comparativas (1980-1989, 2070-2079), (1990-1999, 2080-2089), (2000-2009, 2090-2099), dos resultados normalizados de severidade

da giberela por localidade, simulados pelo modelo GIBSIM, para as 27 localidades do estado do Paraná.

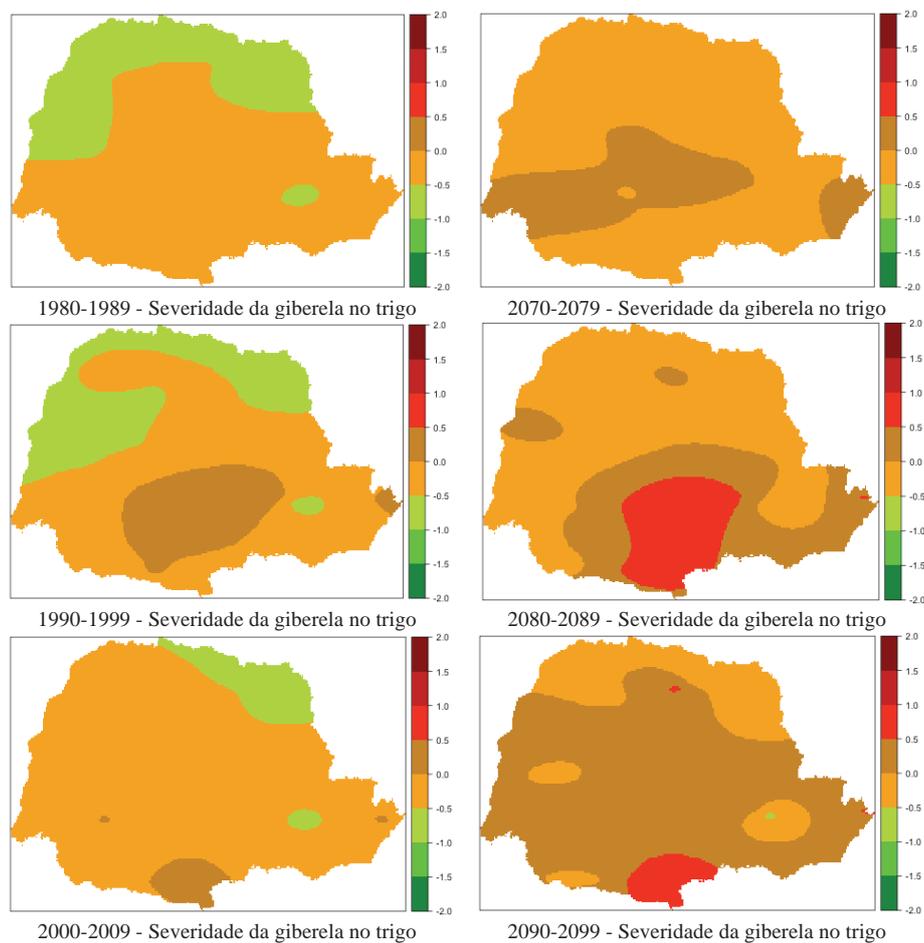


Figura 3 - Mapas hipsométricos dos valores médios normalizados de severidade da giberela no trigo, simulados pelo modelo GIBSIM para o estado do Paraná. São representadas as décadas: 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 (*baselines*) e 2070-2079, 2080-2089, 2090-2099 (GCMs).

Avaliando a Figura 3, por mesorregião, comparando as décadas de 1980-1989 e 2070-2079, os maiores impactos de aumento da severidade da giberela foram nas mesorregiões oeste, a partir do centro até norte da mesorregião centro-sul e leste da mesorregião metropolitana. Entre as décadas de 1990-1999 e 2080-2089, observou-

se o maior impacto de aumento da severidade de giberela na década 2080-2089, nas mesorregiões centro-sul e sudeste, em relação à década 1990-1999. Para as décadas 2000-2009 e 2090-2099, todas as mesorregiões tiveram aumento da severidade da giberela na década 2090-2099 em relação à década de 2000-2009, e a maior severidade foi encontrada na região sul das mesorregiões centro-sul e sudeste.

Também foram gerados resultados, do impacto da severidade da giberela, divididos por anos nas décadas, tanto para as décadas dos baselines (1980-1989, 1990-1999, 2000-2009), como para as décadas dos GCMs (2070-2079, 2080-2089, 2090-2099). Esses dados são mostrados na Figura 4.

Na década de 1980-1989, o ano de maior média de severidade de ocorrência de giberela foi o de 1989, com o valor de -0,1300. Nessa mesma década, o ano de 1988 foi o que apresentou a menor média de severidade, sendo -0,7364. A média normalizada da década foi -0,4365.

No que se refere à década de 1990-1999, observou-se que o ano em que ocorreu a maior média de severidade da doença foi 1990, com o valor 0,3105. Entretanto, o ano que apresentou menor média de severidade da doença foi 1995, com o valor -0,6255. No entanto, a média normalizada da década foi -0,2990.

Na década de 2000-2009, o ano que resultou como sendo o de maior na média da severidade da doença foi o de 2008, com o valor -0,0580. Já o ano de 2003 apresentou a menor média de severidade, sendo -0,5722. Já a média normalizada da década foi -0,3026.

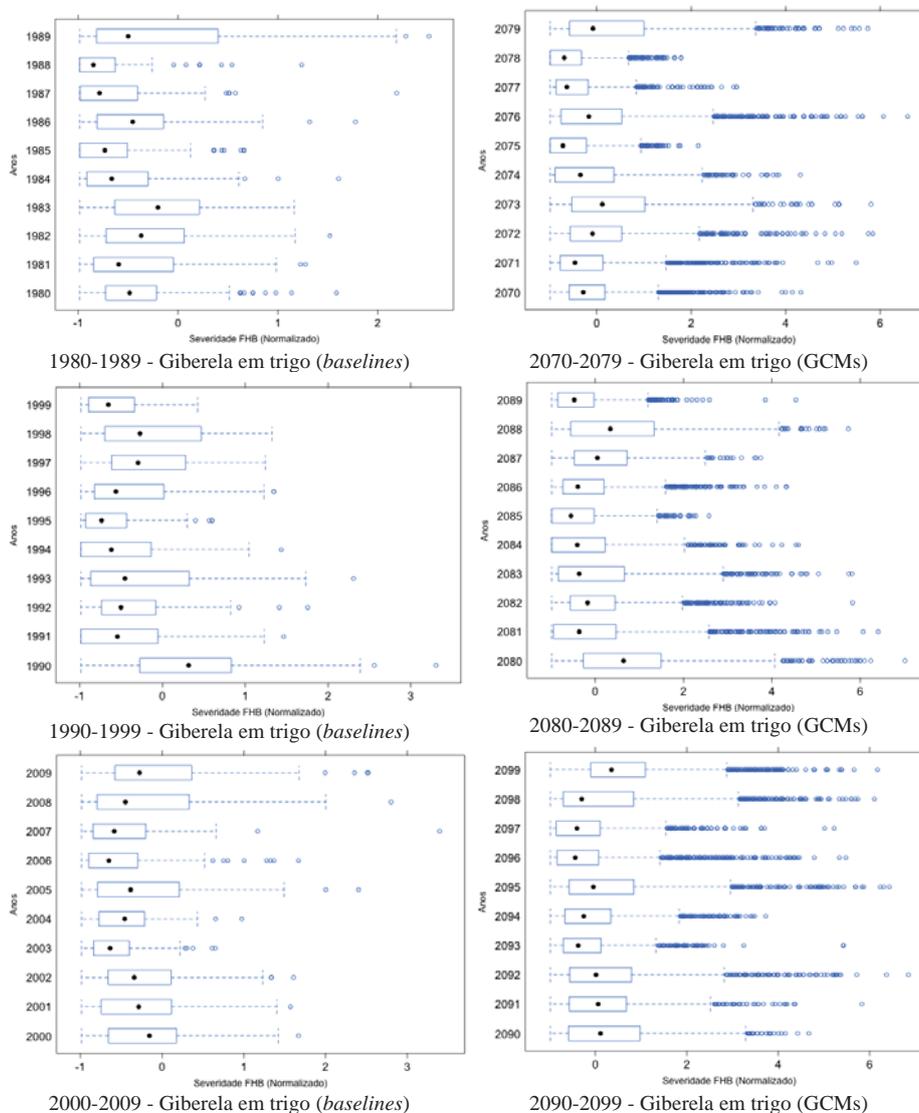


Figura 4 - Resultados do impacto da severidade média normalizada da giberela no trigo, divididos por ano nas décadas, tanto para as décadas dos *baselines* (1980-1989, 1990-1999, 2000-2009), como para as décadas dos GCMs (2070-2079, 2080-2089, 2090-2099).

Para a década 2070-2079, a maior média normalizada de severidade da giberela foi no ano de 2079, correspondendo ao valor 0,3713. No entanto, o ano que correspondeu ao menor índice médio

de severidade foi o de 2078, com valor -0,5538. A média normalizada da década foi -0,0989.

Em relação à década de 2080-2089, o ano que apresentou a maior média normalizada de severidade foi 2080, e o ano que apresentou a menor média normalizada de severidade foi 2085, sendo respectivamente, 0,7595 e -0,4018. Como média normalizada da década, o resultado foi 0,0513.

Por fim, no que se refere à década entre 2090 a 2099, o ano que teve a maior média normalizada de severidade foi 2098, com o valor de 0,6331 e o menor valor foi 2097, com o valor -0,2585. A média normalizada da década foi 0,1126.

#### **4 DISCUSSÃO**

Analisando, após a normalização dos dados, os resultados de rendimentos de grãos, obtidos pelas simulações realizadas pelo modelo *Cropsim-Wheat*, verificou-se que no comparativo entre as décadas ocorreu um aumento no rendimento de grãos nos cenários de mudanças do clima global (GCMs) em relação aos cenários dos *baselines*, causando um impacto positivo na produtividade do trigo.

Um fator que pode ter causado o impacto positivo no rendimento de grãos do trigo é a maior disponibilidade hídrica no solo em virtude do aumento da precipitação pluvial em cenários futuros de mudança do clima global.

Outro fator que pode ser citado como responsável pelo impacto positivo no rendimento de grãos, é o aumento da

concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, associado a um aumento moderado na média da temperatura do ar de até 2 °C (STRECK & ALBERTO, 2006). Nesse caso, pode ser benéfico as plantas de mecanismo C3, no caso o trigo, pois aumenta a saturação da enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase (rubisco) que é responsável pela carboxilação primária nessas plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Para testar a hipótese do aumento do rendimento de grãos em função do aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera, realizou-se a simulação de um tratamento com dois valores de CO<sub>2</sub>, 350 ppm e 450 ppm. O rendimento de grãos com 350 ppm foi de 5.510 kg/ha, com 450 ppm de 5.870 kg/ha. Para confirmar essa hipótese, sugere-se um estudo detalhado do impacto do aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera no rendimento de grãos de trigo, no entanto. Um fator limitante é a falta de dados observados para a comparação dos modelos de simulação em relação à concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Alguns experimentos de campo denominados FACE (*Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment*) permitem estudar os efeitos da concentração de CO<sub>2</sub> em ecossistemas sem alterar as condições do microclima (NOWAK et al., 2004). Estes experimentos são extremamente caros e difíceis de serem conduzidos (MORAES et al., 2011).

Os mapas hipsométricos de rendimentos de grãos dos dados climáticos dos *baselines* (1980-2009) indicam uma tendência semelhante aos mapas hipsométricos de rendimentos de grãos do GCMs (2070-2079), que sugere uma possível mudança do clima global entre os anos de 1980 e 2009, no entanto faz-se necessário estudos mais concretos para consolidar essa possibilidade.

O fato da média dos rendimentos de grãos normalizados de algumas localidades, simulados para os dados dos GCMs, terem sido maior do que os valores simulados para os dados dos baselines, indicam a ocorrência de períodos sem precipitação pluvial associados às fases de desenvolvimento da planta, ocorrendo déficit hídrico na simulação e por consequência um valor menor de rendimento de grãos. Esse tipo de situação ocorreu com mais frequência em experimentos com os dados dos GCMs onde ocorreu uma maior quantidade de "outliers" (valores atípicos), o que pode caracterizar uma maior ocorrência de eventos extremos, como por exemplo, períodos sem ocorrência de precipitação pluvial.

Para os anos correspondentes a 2070-2099, concernente aos cenários climáticos de aumento de temperatura do ar, verificou-se o encurtamento do ciclo da cultura do trigo (SIQUEIRA et al., 1994). Essa informação pode ser um importante aliado em trabalhos de zoneamento agroclimático, no sentido de se identificar possíveis indicações de cultivares de trigo e épocas de semeadura.

Em relação aos valores de severidade de giberela, pode-se observar que, de maneira geral, no comparativo entre as décadas, a severidade da giberela aumentou nos experimentos executados com os dados dos GCMs, para os anos de 2070 a 2099, em relação aos dados dos experimentos dos baselines, correspondentes aos anos de 1980 a 2009. Esses resultados podem ser explicados pelo aumento da temperatura média do ar e pelo aumento da precipitação pluvial acumulada na década, no estado do Paraná. No caso da giberela, os dados meteorológicos necessários para o desenvolvimento do fungo *Gibberella. zaeae*, são: condições de molhamento da planta e

temperatura do ar entre 12 e 28°C (BAI & SHANER, 1996). Essas variáveis meteorológicas, também estão inseridas e representadas nas equações de infecção e velocidade de infecção do modelo de doença GIBSIM (DEL PONTE, 2005).

O possível aumento, tanto do rendimento de grãos de trigo, quanto da severidade da giberela, associado aos cenários de mudanças do clima global, leva ao questionamento de qual será a qualidade do trigo produzido, tendo em vista a possibilidade do aumento da doença. Isto é um fator importante, pois a giberela, além de causar perdas e danos na lavoura, pode causar toxicidade em outros seres vivos, em decorrência da presença de micotoxinas, principalmente a DON (Deoxinivalenol). Essa micotoxina é resistente ao processo de moagem e aquecimento e, portanto entra na cadeia alimentar de animais e humanos, podendo, além de outros problemas, afetar o sistema imunológico levando ao desenvolvimento de lesões no coração e rins (McMULLEN & STACK, 1994; PINTON et al., 2008; REIS, 1988).

Caso se confirme a possibilidade de aumento da ocorrência de giberela devido à mudança do clima global, deve-se ter acesso a mecanismos que possibilitem um melhor controle da doença. Uma possibilidade seria por meio do melhoramento genético, criando cultivares de trigo resistentes. Atualmente, as melhores fontes de resistência disponíveis não possuem resistência completa. Embora tenham boa resistência de campo, não são adaptadas agronomicamente. Algumas cultivares de trigo apresentam resistência moderada em relação a giberela, dentre elas: BRS 177, BRS-179, BRS 296, BRS-Camboim, BRS-Guamirim, BRS Louro, BRS-Tarumã,

BRS-Timbaúva, BRS-Umbu e Fundacep Campo Real (DALLA NORA et al., 2011).

Outra opção de controle da giberela seria o tratamento químico através da aplicação de fungicidas nas sementes e no campo. O tratamento de sementes, atualmente, depende de vários fatores como a escolha do fungicida e dosagem, além da dificuldade de aplicação em grandes quantidades de sementes o que pode afetar a qualidade do tratamento e interferir na eficácia do tratamento (DANELLI & ROSSI, 2011). A aplicação de fungicidas no campo é mais complexa ainda, pois envolve um conjunto maior de fatores tais como: temperatura do ar, épocas de aplicação, concentrações, etc. Embora os fungicidas tenham apresentado eficiência para o controle da giberela, os resultados ainda não são satisfatórios do ponto de vista de controle da doença e também existe inconsistência dos resultados para locais e anos, independente do fungicida utilizado (DEUNER et al., 2011).

## 5 CONCLUSÕES

As simulações realizadas, para os 27 locais do estado do Paraná, utilizando o modelo *Cropsim-Wheat* e comparando dados meteorológicos observados de trinta anos (1980-2009), com 16 *ensembles* de dados meteorológicos de prognósticos de mudança do clima global (cenário A2 IPCC) de trinta anos até o final do século (2070-2099), indicam os seguintes impactos:

(i) aumento no rendimento de grãos da cultura do trigo nas três últimas décadas do final do século 21. Esse fato dá-se, principalmente, pela maior disponibilidade hídrica no solo e pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

(ii) aumento da severidade da giberela na cultura trigo nas três últimas décadas do final do século 21, fato que é influenciado principalmente pelo aumento da temperatura média do ar e pelo aumento da precipitação pluvial.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do banco de dados AgroDB foi possível realizar a integração com o modelo de simulação *Cropsim-Wheat*. Teoricamente, pela generalidade do projeto do AgroDB é possível realizar a integração com outros modelos de simulação, não alterando, ou adicionando poucas características estruturais ao banco de dados. No entanto, ainda faz-se necessário testar a integração com outros modelos de simulações de culturas.

O uso do AgroDB permitiu o gerenciamento de grandes quantidades de dados e possibilitou, de forma rápida e segura, a execução de diversas simulações usando o modelo *Cropsim-Wheat* envolvendo os mais diferentes fatores experimentais. Também dispõe de tecnologias que permitem a busca e visualização dos dados, e a integração com linguagens de programação.

Foi possível realizar a calibração do modelo *Cropsim-Wheat*, em relação aos estádios de desenvolvimento da cultura do trigo, através dos ajustes dos coeficientes das variáveis genéticas das cultivares testadas, identificando quais as variáveis mais influentes. Em relação a calibração do rendimento de grãos, verificou-se que existem vários fatores que podem afetá-lo, e que necessita-se de experimentos de campo com dados mais detalhados para se ter uma calibração mais precisa. Também sugere-se um estudo mais detalhado sobre o procedimento de uso do nitrogênio no modelo *Cropsim-Wheat*.

De acordo com os experimentos simulados (2070-2099) pelo modelo *Cropsim-Wheat*, pode-se observar um impacto positivo

das mudanças climáticas globais (cenário A2 IPCC), no rendimento de grãos de trigo, ocasionado pela maior disponibilidade de água no solo e pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Além disso, também verificou-se uma diminuição do ciclo da cultura do trigo em relação aos dados climáticos observados (1980-2009). Neste sentido, seria interessante realizar estudos específicos associados a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Em relação a severidade da giberela, também observou-se um aumento. Este aumento da severidade foi ocasionado pelo aumento da precipitação pluvial e aumento da temperatura do ar, variáveis que influenciam diretamente no ciclo infeccioso da doença. Um trabalho interessante seria isolar os fatores meteorológicos, por exemplo temperatura do ar e precipitação pluvial, e identificar qual tem maior impacto na doença, em relação a cenários futuros de mudanças climáticas.

Como observou-se um aumento, tanto no rendimento de grãos, como na severidade da giberela, questiona-se a qualidade dos grãos produzidos, tendo em vista o aumento da doença. Neste caso, alerta-se para futuras medidas de controle da giberela. Nesse sentido, seria interessante criar cultivares com determinadas características de resistência, e usando o modelo *Cropsim-Wheat* testá-las em relação ao impacto da doença, podendo assim auxiliar o processo de melhoramento genético.

Os estudos e conclusões consideram as atuais práticas de cultivo, como semeadura, espaçamento, população de plantas e potencial genético das cultivares.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGRAWAL, R.; A. SOMANI; XU, Y. Storage and Querying of E-Commerce Data in the Proceedings. of VLDB 2001. 2001. *Agronomy Journal*, v 96:1706-1710. 2004.

ALI, I.; WHISLER, F. D.; IQBAL, J.; JENKINS, J. N.; MCKINION, J. M. *Soil Physical Properties Web Database for GOSSYM and GLYCIM Crop Simulation Models*. *Agronomy Journal*, v 96:1706-1710. 2004.

ANUNCIACÃO, Y. M. T.; LIU, W. T. *Estimativa da produtividade do trigo em campo experimental, utilizando o modelo fisiológico CERES trigo em condições de campo experimental*. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 7. 1991. Viçosa-MG. p.22-25. Viçosa-MG Brasil.

AQUACROP. *AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to wate*. Reference Manual, Chapter 1 – AquaCrop, January 2009. Disponível em <http://www.fao.org>. Acesso em: 21/05/2012.

ASSAD, E. D. et al. *Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

BAI, G.; SHANNER, G. *Scab of wheat: prospects for control*. *Plant Disease*, v. 788, p. 760-766, 1994.

BAIGORRIA, G. A.; JONES, J.W.; SHIN, D.W.; MISHRA, A.; O'BRIEN, J.J. *Assessing uncertainties in crop model simulations using daily bias-corrected Regional Circulation Model outputs*. *Climate Research*. 34: 212-222. 2007.

BAIGORRIA, G. A.; HANSEN, J.W.; WARD, N.; JONES, J.W.; O'BRIEN, J.J.. *Assessing predictability of cotton yields in the southeastern United States based on regional atmospheric circulation and surface temperatures*. *J. App. Meteorol. Climatol.* 47: 76-91. 2008.

BAIGORRIA, G.A.; JONES, J.W.; O'BRIEN, J.J.. *Potential predictability of crop yields using an ensemble climate forecast by a regional circulation model*. Agric. Forest Meteorol. 148: 1353-1361. 2008a.

BANNAYAN M.; CROUT N.M.J.; HOOGENBOOM G. *Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom*. Agronomy. Journal. 95: 114-125. 2003.

BECHINI, L.; STÖCKLE, C.; *Integration of a Cropping Systems Simulation Model and a Relational Database for Simple Farm-Scale Analyses*. Agronomy Journal. Vol. 99 No. 5, p. 1226-1237. 2007.

BINDSCHADLER, R. A.; BENTLEY, C. R. *Fantasma do Degelo*. Scientific American Brasil. n. 12, p. 26-33, 2005.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. *Potencial uses and limitations of crop model*. Agronomy Journal, v.88, p.704-716, 1996.

BRAGA, R.; PINTO, P.; COELHO, J. *Os Modelos de Simulação e a Investigação de Sistemas de Agricultura*. 2005. Disponível em: <[http://www.esaelvas.pt/ricardo\\_braga/ordem.html](http://www.esaelvas.pt/ricardo_braga/ordem.html)>. Acesso em: 26 maio 2012.

CABRERA, V. E.; SOLÍS, D.; BAIGORRIA G. A; LETSON, D. *Managing climate variability in agricultural analysis*. In: Long, J.A. and Wells, D.S. (Eds.). *Ocean Circulation and El Niño: New Research*. pp. 163-179. Nova Science Publishing , Inc. Hauppauge, NY. ISBN: 978-1-160692-084-8. 2009.

CALDEIRA, C. P.; PINTO, P. A. *Linking DSSAT V3 to a relational database: The AGROSYS-DSSAT interface*. Comput. Eletron. Agric., v 21:69-77. 1998.

CALVERO, S.B.; TENG, P.S. *Use of simulation models to optimise fungicide use for managing tropical rice blast disease*. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, p. 305-320. 1997

CASA, R. T.; JUNIOR, P. R. K. Danos causados nos hospedeiros. In: REIS, E. M (Org.). *Seminário sobre giberela em cereais de inverno*. 1ª Edição. Passo Fundo: Ed. Berthier, 2011. 73-86.

CENTURY. *General Model Description*. 2012. Disponível em: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/>. Acesso em 21/05/2012.

CHWIF, L.; MEDINA, A. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Prática*. São Paulo. Ed. dos Autores. 2006. 320p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento - *Acompanhamento da Safra de Grãos 2012/13*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2013.

CONTI, J.B. *Considerações sobre as mudanças climáticas globais*. Revista do Departamento de Geografia, n.16, p.81-88, 2005.

COURAULT D.; RUGET F. *Impact of local climate variability on crop model estimates in the south-east of France*. CLIMATE RESEARCH Vol. 18: 195–204, 2001

CUNHA, G. C. et al. *Zoneamento Agrícola e Época de Semeadura para Trigo no Brasil*. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Passo Fundo V.9, N 3, p 400 - 414, 2001. N<sup>o</sup> Especial:Zoneamento Agrícola.

CUNHA, G. R.; VARGAS, L.; PIRES, J. L. F. Bases para produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F. (Ed); VARGAS, L. (Ed); CUNHA, G. R (Ed). *Trigo no Brasil - Bases para a produção competitiva e sustentável*. 1<sup>a</sup> Edição. Passo Fundo. Embrapa Trigo, 2011. 19-25.

CUNHA, G. R. et al. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J. L. F. (Ed); VARGAS, L. (Ed); CUNHA, G. R (Ed). *Trigo no Brasil - Bases para a produção competitiva e sustentável*. 1<sup>a</sup> Edição. Passo Fundo. Embrapa Trigo, 2011a. 27-40.

DALLA NORA, T.; FRANCO, F.A.; CANTERI, G. M. Progresso no melhoramento genético de trigo visando resistência a giberela. In:

REIS, E. M (Org.). *Seminário sobre giberela em cereais de inverno*. 1a Edição. Passo Fundo: Ed. Berthier, 2011. 185-198.

DANELLI, A. L. D.; DE ROSSI R. L. Tratamento de sementes com fungicidas. In: REIS, E. M (Org.). *Seminário sobre giberela em cereais de inverno*. 1a Edição. Passo Fundo: Ed. Berthier, 2011. 199-214.

DATE, C. *Introdução a Sistemas de Bancos de Dados*. 8ª Edição. Rio de Janeiro, Elsevier Editora, 2004. 865p.

DEHAINSA, H.; PIERRA G.; BELLATRECHE, L. *OntoDB: An Ontology-Based Database for Data Intensive Applications*. . In Proceedings of the 12th Int. Conf. on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA'07). LNCS 2007.

DEL PONTE, E.M.; FERNANDES, J.M.C.; PIEROBOM, C.R. & BERGSTROM, G.C. *Giberela do trigo – aspectos epidemiológicos e modelos de previsão*. Fitopatologia Brasileira 29:587-605. 2004.

DELPONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W. *A risk infection simulation model for fusarium head blight of wheat*. Fitopatologia Brasileira, v. 30, p. 634–642, 12 2005.

DELPONTE, E. M. et al. *Models and applications for risk assessment and prediction of asian soybean rust epidemics*. Fitopatologia Brasileira, sciELO, v. 31, p. 533–544, 12 2006.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES J. M. C.; PAVAN W.; BAETHGEN W.E. *A Model-based Assessment of the Impacts of Climate Variability on Fusarium Head Blight Seasonal Risk in Southern Brazil*. J Phytopathol. doi: 10.1111/j.1439-0434.2009.01559.x. 2009

DEUNER, C. C.; VIANA E.; DE ROSSI, R.; CAMERA, J. Fungicidas indicados pela pesquisa, momento da aplicação e eficiência do controle de giberela na cultura do trigo. In: REIS, E. M (Org.). *Seminário sobre giberela em cereais de inverno*. 1a Edição. Passo Fundo: Ed. Berthier, 2011. 215-234.

DEXTER, J. E.; NOWICKI, T. K.; *Fusarium head blight of wheat and barley*. The American Phytopathological Society, cap 16, p. 420-460. 2003.

DONATELLI, M.; ITTERSUM, V.; BINDI M.; PORTER, J. R.; *Modelling cropping systems: Highlights of the symposium and preface to the special issues*. Eur. J. Agron., v 18:1-11. 2002.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. *Sistemas de Banco de Dados*. 4<sup>a</sup> Edição. São Paulo, Pearson Addison Wesley Editora, 2005. 724p.

FARIA, R. T.; BOWEN, W. T. *Evaluation of DSSAT soil- water balance module under cropped and bare soil conditions*. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 46, n. 4, p. 489-498, 2003.

FERNANDES, J. M. et al. *Simulação de epidemias*. Revisão Anual de Patologia de Plantas, RAP, Passo Fundo, Brasil, v.2, n.1, 1994.

FERNANDES, J. M.; *As doenças das plantas e o sistema plantio direto*. Revisão Anual de Patologia de Plantas. Passo Fundo, v. 5, p. 317-352, 1997.

FERNANDES, J.M.C.; PAVAN, W. *A phenology-based predictive model for Fusarium Head Blight of Wheat*. Anais, National Fusarium Head Blight Forum, Erlanger, KY, USA, 2002. pp.154-158. 2002.

FERNANDES, J. et al.; *Modelling fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based models*. in: Canty, s.m. and boring, t. and wardwell, j. and ward, r.w. (eds.). In: 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight; incorporating the 8th European Fusarium Seminar. Orlando, FL, USA: Michigan State University, East Lansing, MI, 2004. p. 441-444.

FERNANDES, J. et al. *Web-Based System to True-Forecast Disease Epidemics - Case Study for Fusarium Head Blight of Wheat*. In: Sivakumar, Mannava V. K. and Hansen, James (Eds.). Berlin Heidelberg, 2007. 265-271 p.

FRAISSE, C. W.; N.W. BREUER; ZIERDEN, D.; BELLOW, J.G.; PAZ, J.; CABRERA, V.E; GARCIA, A. Y.; INGRAM, K.T.; HATCH, U.; HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; O'BRIEN, J.J.

*AgClimate: A climate forecast information system for agricultural risk management in the southeastern USA.* Comput. Eletron. Agric. 53: 13-27. 2006.

FRAISSE, C. W.; CABRERA, V.E.; BREUER, N.E.; J.; BAEZ, J.; MATOS, E. *El Niño – Southern Oscillation influences on soybean yields in eastern Paraguay.* Internacional Journal of Climatology. 28: 1399-1407. 2008.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R.; GASPAROTTO, L; PEREIRA, J. C. *Análise de Risco das Mudanças Climáticas Globais sobre a Sigatoka-negra da Bananeira no Brasil.* Fitopatol. Bras. 32(3), maio - jun 2007.

GOLDBERG, D. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning.* Ed. Addison-Wesley, 1988. 432p.

GRAVES, A.R.; , MATHHEWS, H.T.; STEPHENS, R.B. MIDDLETON, W.T. *Crop simulation models as tools in computer laboratory and classroom-based education.* J. Nat. Resour. Life Sci. Educ., 31:48-54. 2002 .

GROSSI, C. M. *Calibração do modelo CSM-CERES-SORGHUM para avaliação dos impactos de mudanças climáticas.* 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Univeridade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

HALEY, S.D.; MAY, R.D.; SEABOURN, B.W.; CHUNG, O.K.; *Relational database system for summarization and interpretation of hard winter wheat regional quality data.* Crop Science, v 39: 309-315. 1999.

HANSEN, J.W. HODGES; JONES, J.W. *Enso influences on agriculture in the southeastern United States.* Journal of Climate 11: 404-411. 1998.

HAYMAN, P.T.; EASDOWN, W.J. *An ecology of a DSS: reflections on managing wheat crops in the northeastern Australian grains region with WHEATMAN.* Agricultural Systems, v.74, p.57-77. 2002.

HEUSER C. Projeto de Banco de Dados. 6ª Edição. Porto Alegre, Bookman, 2009. 282p.

HUNT, L. A.; PARARAJASINGHAM, S. *Cropsim-wheat: A model describing the growth and development of wheat*. Canadian journal Plant Science, Ottawa, Canada, v. 75, p. 612–632, 1995.

ICASA. *ICASA - International Consortium for Agricultural Systems Applications*. Disponível em: <<http://icasa.net>>. Acesso em 17/02/2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Carbon Dioxide: Projected Emissions and Concentrations*. Disponível em: <[http://www.ipcc-data.org/ddc\\_co2.html](http://www.ipcc-data.org/ddc_co2.html)> . Acesso em: 4 de outubro de 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel Climate Change. *Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers*. Geneva: IPCC, 2007. 18 p.

IPCC SR4. *Climate Change 2007: Syntesis Report*. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 17/02/2013.

IPCC SRES. *Special Report Emissions Scenarios*. 2000. Disponível em: <[www.ipcc.ch/pdf/special-reports/.../sres-en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/.../sres-en.pdf)>. Acesso em 17/02/2013.

JAUK, G. *Caos no Topo do Mundo*. *Scientific American Brasil*. n. 12, p. 42- 49, 2005.

JONES, J. W. et al. *The dssat cropping system model*. European Journal of Agronomy: Modelling Cropping Systems: Science, Software and Applications, v. 18, n. 3-4, p. 235–265, 2003.

LANDSCHOOT, S. et al. *A field-specific web tool for the prediction of Fusarium head blight and deoxynivalenol content in Belgium*. Computers and Eletronics in Agriculture. p. 140-148, 2013.

LAU, D. et al. Doenças de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F. (Ed); VARGAS, L. (Ed); CUNHA, G. R (Ed). *Trigo no Brasil - Bases para*

*a produção competitiva e sustentável*. 1ª Edição. Passo Fundo. Embrapa Trigo, 2011. 283-323.

LIMA, M. I. P. M.; SÓ E SILVA, M.; CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P.L.; DEL DUCA, L de J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; PIRES, J. L. *Avaliação de giberela em genótipos de trigo do Ensaio Estadual de Cultivares, na região de Passo Fundo, em 2005*. Passo Fundo: Embrapa Trigo - Documentos on line. 7p, 2006.

MALLMANN, G. *Modelos de Simulação da Ferrugem da Folha do Trigo: Validação e Impacto Econômico*. 2009. 207f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, jul. 2007.

MARTINEZ, C. J.; BAIGORRIA, G.A.; JONES, J.W. *Use a climate indices to predict corn yields in southeast USA*. International Journal of Climatology. 29: 1680-1691. 2009.

McMULLEN, M.; STACK, R. W. *Head blight (scab) of small grains*. [S. I.]: NDSU, 1994. 4 p.

MELO A.C. *Desenvolvendo Aplicações com UML*. 1ª Edição. Rio de Janeiro, Brasport, 2002. 262p.

MORAES, W.; JUNIOR, W.; MORAES W.; CECÍLIO R. *Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura*. Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas V. 5, N. 2, pág. 4, 2011.

MOTA, F. S. da; *Clima e Zoneamento para a triticultura no Brasil*. Agrometeorologia do Cultivo no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 5-35, 1989.

NOWAK, S. R.; ELLSWORTH S. D.; SMITH D. S. *Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>— do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions?*. New Phytologist, 162: 253 – 280. 2004

PARRY, D. W.; JENKINSON, P.; McLEOD, L.; *Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals - a review*. Plant Pathology, Londres v. 44, n. 2, p. 207-238. 1995

PAVAN, W. *Técnicas de Engenharia de Software Aplicadas à Modelagem e Simulação de Doenças de Plantas*. 2007. 207f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, jul. 2007.

PELLEGRINO, G. Q., ASSAD, E. D., MARIN, F. R. *Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil*. Revista Multiciência, Campinas, Ed. 8, 2007.

PINTON, P.; ACCENSI, F.; BEAUCHAMPA, E.; COSSALTER, A. M.; CALLU, P.; GROSJEAN, F.; OSWALD, I. P. *Ingestion of deoxynivalenol (DON) contaminated feed alters the pig vaccinal immune responses*. Toxicology Letters, v. 177, p. 215-222, 2008.

PLR. Disponível em: <[joeconway.com/plr](http://joeconway.com/plr)>. Acesso em: 25 de outubro de 2012.

POSTGIS. Disponível em: <<http://postgis.refractory.net/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2012.

POSTGRECENTER. Disponível em: <<http://postgrescenter.pgopen.com.br/quem-usa-postgresql/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2012.

POSTGRESQL. Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2012.

R PROJECT. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2012.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; KIMBALL, B. A. *Climate Change and Global Crop Productivity: an Overview*. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. (Eds.). *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford, UK, p.161-187, 2000.

REIS, E. M.; *Doenças do trigo III: giberela*. 2a Ed. rev. amp. São Paulo: [s. n.], 1988. 13 p.

REIS, E. M. et al. *Grain Losses caused by the infection of wheat heads by Gibberella zeae in southern Brasil, from 1984 to 1994*. Summa Phytopathologica, Piracicaba, v.21, n. 1, p. 134-137, 1996.

REIS, E. M. Sistemática, morfologia, isolamento e produção de inóculo de *Fusarium graminearum* e *Gibberella zeae*. In: REIS, E. M (Org.). *Seminário sobre giberela em cereais de inverno*. 1a Edição. Passo Fundo: Ed. Berthier, 2011. 215-234.

REYNOLDS, J.; ACOCK, B. *Modularity and genericness in plant and ecosystem models*. *Ecological Modelling*, v. 94, n. 1, p. 7-16, 1997.

SAHA, S. N.; THIAW, C.; WANG, J.; WANG, W.; ZHANG, Q.; VAN DEL DOOL, H.M.; PAN, H.L.; MOORTHI, S.; BEHRINGER, D.; STOKES, M.; PEÑA, M.; LORD, S.; WHITE, G.; EBISUZAKI, W.; PENG, P.; XIE, P. *The NCEP climate forecast system*. *Jouneal of Climate*. 19: 3483-3517. 2006.

SCOTT, J. M.; LORD C. J.; *S,GS: database: Use a relational databases to enhance data management for multi-site experiments*. *Aust. J. Exp. Agric.* 43:729-743. 2003.

SILBERCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSCHAN, S. *Sistemas de Banco de Dados*. 5ª Edição. Rio de Janeiro, Elsevier Editora, 2006. 781p.

SILVA, C.; SOLER, C.; BOARETTO A.; SPOLIDORIO, E.; FREITAS, J.; MATA, D. *Simulação do Crescimento e Desenvolvimento do Trigo Irrigado Utilizando o Modelo CERES-Wheat na Região de Campinas - SP*. Campinas. Embrapa Informática e Agropecuária, 2002. (Circular Técnica 2).

SIMON, S. H. *Redes Neurais - Princípios e Prática*. Ed. Bookman Companhia, 2000. 900p.

SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N.G.; *Crop modeling: From infancy to maturity*. *Agron. J.* 88:698-704. 1996.

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, J.R.B.; SANS, L.M.A. *Potential effects of global climate changes for Brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.2, p.115-129, 1994.

SISALERT. *Sistema de Alertas de Doenças*. Disponível em: <<http://sisalert.com.br/site/>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2013.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA (SIDRA). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp>> . Acesso em 10 de outubro de 2012.

STIGLIANI, L.; SANTOSPIRITO, G.; CARDINALE, N.; RESINA, C. A relational database as decision support system in chemical weed control. *Weed Technol*, v 10:781-794. 1996.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. *Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.9, p.1351-1359, 2006.

STRUM, M., PEROVICH, K.; SERREZA, M. C. O Acelerado Derretimento do Norte. *Scientific American Brasil*. n. 12, p. 34-41, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3 Ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

THORNTON, P.K.; WILKENS, P.W. *Risk assessment and food security*. Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 329-345. 1998.

THORP, K. R.; HUNSAKER D. J.; FRENCH, A. N.; WHITE, J. W.; CLARKE T. R.; PINTER JR, P. J. *Evaluation of the CSM-CROPSIM-CERES-WHEAT Model as a Tool for Crop Water Management*. American Society of Agricultural and Biological Engineers - ASABE. Vol. 53 (1), 87 - 102, 2010

USCHOLD, M.; GRÜNNIGER M. *Ontologies and Semantic for Seamless Connectivity*. ACM SIGMOD Record Volume 33 , Issue 4 (December 2004) Special section on semantic integration Pages 58 , 64. 2004.

VAN EVERT, F.K.; SPAANS, E.J.A.; KRIEGER, S.D.; CARLIS J. V.; BAKER J.M. *A database for agroecological research data: I. Data model*. Agronomy Journal, v. 91:54-62. 1999.

WANG, S.; LI, H.; YANG, Y.; WANG, H.; YANG, Y.; JIA, Y. *Using DSSAT Model to asses spring wheat and maize water use in the arid oasis of Northwest China*. Journal of Food. Agriculture & Environment. Vol. 10 (1), 911 - 918, 2012.

WOFOST. *WOFOST 7.1 - User Manual*. Disponível em: <http://www.wofost.wur.nl/UK/documentation/>. Acesso em 18/05/2012.

WÖSTEN, J.H.M.; LILLY, A.; NEMES, A.; LE BAS, C.; *Development and use of a database of hydraulic properties of european soils*. Geoderma. v. 90: 169–185. 1999.

XIA, Y. L.; STINNER, R.E.; BRINKMAN, D.; BENNET, N. Agricultural chemicals use data access using COULFUSION markup language and relational database. Comput. Eletron. Agric, v 38:217-225. 2003.

ZADOKS J.C.; Chang T.T.; KONZAK C.F. *A decimal code for the growth stages of cereal*. Weed Research 14:415-421, 1974.

ZULIANI. M.; A. PERESSOTTI, G; ZERBI, G; ZULIANI, G.; VEDOVE, D.; DANUSO, F.; *ClimagriLT: a Relational Meta-Database for Data Management of Long-Term Agronomic Experiments*. Ital. J. Agron.v 7:137-143. 2003.

## APENDICES

### Anexo 1 - Análise química do solo do ano de 2010.

Bloco/Profundidade	H+AL	CTC	CTC <sub>e</sub>	S	V	Ca	Mg	K	H+AL	Al
	mmolc/dm <sup>3</sup>				%	% de saturação da CTC				%
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	54,9	127,9	75,3	73,0	57,1	35,3	16,8	5,0	42,9	3,1
<b>5-10 cm</b>	48,9	123,8	76,7	74,9	60,5	35,5	18,1	6,9	39,5	2,3
<b>10-20 cm</b>	54,9	122,6	70,1	67,8	55,3	34,4	16,9	4,0	44,7	3,3
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	61,5	138,3	79,1	76,8	55,5	34,1	16,4	5,0	44,5	2,9
<b>5-10 cm</b>	48,9	115,6	70,3	66,7	57,7	35,5	18,3	4,0	42,3	5,1
<b>10-20 cm</b>	43,6	113,9	72,1	70,3	61,7	39,1	19,1	3,5	38,3	2,5
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	48,9	120,5	73,0	71,0	59,4	34,6	17,2	7,6	40,6	1,9
<b>5-10 cm</b>	54,9	123,9	70,9	69,1	55,7	33,6	16,4	5,8	44,3	2,5
<b>10-20 cm</b>	48,9	120,2	73,1	71,3	59,3	37,5	17,1	4,6	40,7	2,5
<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	43,6	124,3	82,1	80,7	64,9	38,2	19,3	7,4	35,1	1,7
<b>5-10 cm</b>	43,6	118,7	76,5	75,1	63,3	38,2	19,3	5,7	36,7	1,8
<b>10-20 cm</b>	30,9	117,8	86,9	86,9	73,8	46,5	23,7	3,6	26,2	0,0
<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	54,9	127,	74,2	72,	56,	33,	16,	7,	43,1	2,4

		2		4	9	1	1	7		
<b>5-10 cm</b>	69,0	134,2	69,3	65,2	48,6	28,8	14,6	5,2	51,4	5,9
<b>10-20 cm</b>	48,9	119,1	72,9	70,2	58,9	36,7	18,0	4,2	41,1	3,7
<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	61,5	123,8	67,6	62,2	50,3	28,6	14,8	6,9	49,7	8,0
<b>5-10 cm</b>	61,5	123,5	67,9	62,0	50,2	30,1	15,3	4,8	49,8	8,7
<b>10-20 cm</b>	61,5	124,4	67,4	62,9	50,5	30,9	15,4	4,2	49,5	6,7
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	61,5	125,3	67,0	63,8	50,9	27,3	14,2	9,4	49,1	4,8
<b>5-10 cm</b>	69,0	130,1	67,4	61,1	46,9	27,4	13,8	5,8	53,1	9,4
<b>10-20 cm</b>	48,9	108,5	64,6	59,6	54,9	33,7	17,0	4,2	45,1	7,7
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	54,9	117,8	66,6	63,0	53,4	30,5	14,6	8,4	46,6	5,4
<b>5-10 cm</b>	61,5	116,8	62,6	55,3	47,3	27,3	14,1	5,9	52,7	11,7
<b>10-20 cm</b>	43,6	115,7	74,8	72,1	62,3	39,1	19,0	4,2	37,7	3,6
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	54,9	111,2	63,2	56,4	50,7	28,1	15,4	7,2	49,3	10,8
<b>5-10 cm</b>	61,5	120,1	66,8	58,6	48,8	28,1	14,3	6,4	51,2	12,3
<b>10-20 cm</b>	61,5	122,5	67,2	60,9	49,8	31,0	15,6	3,1	50,2	9,4

<b>Bloco/Profundidade</b>	<b>Arg</b>	<b>Text</b>	<b>PH</b>	<b>Ind</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>MO</b>	<b>Al</b>	<b>C a</b>	<b>Mg</b>
	g/dm		agu	SM	mg/dm <sup>3</sup>		g/dm		mmolc/dm <sup>3</sup>	

	3		a	P			3			
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	530	2	5,6	5,8	39, 1	25 2	30	2, 3	45, 1	21, 5
<b>5-10 cm</b>	460	2	5,6	5,9	59, 8	33 6	41	1, 8	43, 9	22, 4
<b>10-20 cm</b>	590	2	5,6	5,8	21, 0	19 0	26	2, 3	42, 2	20, 7
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	500	2	5,5	5,7	43, 1	27 0	39	2, 3	47, 2	22, 7
<b>5-10 cm</b>	560	2	5,6	5,9	26, 6	18 0	25	3, 6	14, 0	21, 1
<b>10-20 cm</b>	530	2	5,7	6,0	11, 7	15 6	21	1, 8	44, 5	21, 8
<b>Bloco I/ 0-5 cm</b>	440	2	5,6	5,9	64, 3	35 8	36	1, 4	41, 7	20, 7
<b>5-10 cm</b>	500	2	5,6	5,8	39, 7	28 0	23	1, 8	41, 6	20, 3
<b>10-20 cm</b>	560	2	5,7	5,9	25, 0	21 8	22	1, 8	45, 1	20, 6
<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	440	2	5,8	6,0	47, 4	36 0	36	1, 4	47, 5	24, 0
<b>5-10 cm</b>	510	2	5,8	6,0	32, 6	26 6	27	1, 4	45, 4	22, 9
<b>10-20 cm</b>	510	2	6,0	6,3	13, 8	16 4	26	0, 0	54, 8	27, 9
<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	420	2	5,6	5,8	64, 1	38 2	39	1, 8	42, 1	20, 5
<b>5-10 cm</b>	480	2	5,4	5,6	48, 3	27 2	29	4, 1	38, 6	19, 6
<b>10-20 cm</b>	510	2	5,6	5,9	26, 6	19 6	25	2, 7	43, 7	21, 5

<b>Bloco II/ 0-5 cm</b>	430	2	5,3	5,7	64, 5	33 4	39	5, 4	35, 4	18, 3
<b>5-10 cm</b>	510	2	5,3	5,7	38, 3	23 0	28	5, 9	37, 2	18, 9
<b>10-20 cm</b>	540	2	5,4	5,7	11, 7	20 6	25	4, 5	38, 5	19, 1
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	400	3	5,4	5,7	51, 4	46 0	36	3, 2	34, 2	17, 8
<b>5-10 cm</b>	510	2	5,3	5,6	71, 4	29 6	29	6, 3	35, 6	17, 9
<b>10-20 cm</b>	530	2	5,3	5,9	16, 9	17 8	23	5, 0	36, 6	18, 4
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	390	3	5,2	5,8	68, 3	38 6	34	3, 6	35, 9	17, 2
<b>5-10 cm</b>	500	2	5,2	5,7	59, 8	26 8	27	7, 3	31, 9	16, 5
<b>10-20 cm</b>	480	2	5,6	6,0	20, 2	19 0	24	2, 7	45, 2	22, 0
<b>Bloco III/ 0-5 cm</b>	440	2	5,3	5,8	37, 1	31 2	35	6, 8	31, 3	17, 1
<b>5-10 cm</b>	540	2	5,2	5,7	16, 9	30 0	27	8, 2	33, 7	17, 2
<b>10-20 cm</b>	620	1	5,3	5,7	8,8	15 0	26	6, 3	38, 0	19, 1

## Anexo 2 - Análise química do solo referente ano de 2011

Método da coleta: para cada amostra / profundidade foi coletada uma amostra representativa do perfil, com auxílio de pá de corte, facão e régua para a divisão das amostras.

Bloco/Profundidade	Argila	Textura	pH	Ind. SMP	MO	P	K	Al	Ca	Mg
	g/dm <sup>3</sup>		Água	P	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>		mmolc/dm <sup>3</sup>		
0-5 cm	530	2	5,1	5,5	35 B	17,5 A	230 M A	11,9	31,7 M	16,3 A
5-10 cm	540	2	5,1	5,5	32 B	11,4 A	178 M A	14,1	31,7 M	14,6 A
10-15 cm	540	2	5,1	5,4	31 B	10,4 A	166 M A	18,0	27,9 M	12,4 A
10-20 cm	470	2	5,2	5,5	30 B	8,1 M	128 M A	11,9	32,1 M	14,1 A

Bloco/Profundidade	H+A I	CT C	CTC e	S	V	Ca	Mg	K	H+A I	AL
	mmolc/dm <sup>3</sup>				%	% de saturação da CTC			%	
0-5 cm	86,8	124,8	5,5	37,9	30,4	17,9	9,0	3,5	69,6	18,1
5-10 cm	540	5,1	5,5	32 B	11,4 A	178 MA	14,1	31,7 M	14,6 A	21,7

<b>10-15 cm</b>	540	5,1	5,4	31 B	10, 4 A	166 MA	18, 0	27, 9 M	12,4 A	28, 8
<b>10-20 cm</b>	470	5,2	5,5	30 B	8,1 M	128 MA	11, 9	32, 1 M	14,1 A	19, 4

### 1.1 Análise Química 2 - coleta no perfil de 0 a 1,3m

Data da coleta:

Método da coleta: para cada amostra / profundidade foi coletada uma amostra representativa do perfil, com auxílio de pá de corte, facão e régua para a divisão das amostras.

PERFIL	Argila	Text	pH	Ind.	MO	P	K	Al	Ca	Mg
Amostras	g/dm <sup>3</sup>		Água	SMP	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>		mmolc/dm <sup>3</sup>		
<b>0-10 cm</b>	500	2	5,0	5,4	30	15,7	170	20,7	22,4	11,2
<b>10-20 cm</b>	510	2	4,8	5,1	23	2,2	68	33,0	9,7	4,5
<b>20-40 cm</b>	540	2	4,8	5,1	21	0,3	34	35,6	5,5	2,9
<b>40-70 cm</b>	480	2	4,8	5,1	18	0,2	20	36,1	4,5	2,5
<b>70-100 cm</b>	570	2	4,8	4,9	15	0,2	12	39,2	4,1	2,8
<b>100-130 cm</b>	700	1	5,1	5,4	9	0,2	12	28,6	3,1	2,0

PERFIL	H+Al	CTC	CTCe	S	V	Ca	Mg	K	H+Al	AL
Amostras	mmolc/dm <sup>3</sup>				%	% de saturação da CTC			%	
<b>0-10 cm</b>	86,8	124,8	58,6	37,9	30,4	17,9	9,0	3,5	69,6	35,3
<b>10-20 cm</b>	122,6	138,5	48,9	15,9	11,5	7,0	3,2	1,3	88,5	67,3
<b>20-40 cm</b>	122,6	131,8	44,9	9,3	7,0	4,2	2,2	0,7	93,0	79,3
<b>40-70 cm</b>	122,6	130,1	43,6	7,5	5,8	3,5	1,9	0,4	94,2	82,8
<b>70-100 cm</b>	154,2	161,4	46,4	7,2	4,5	2,5	1,7	0,2	95,5	84,5
<b>100-130 cm</b>	86,8	92,3	34,0	5,4	5,9	3,4	2,2	0,3	94,1	84,1

