

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

**AgroClimate Smart Crop Season: uma
abordagem na simplificação de modelos
de simulação para sistemas de auxílio à
tomada de decisão**

Daniel Perondi

Passo Fundo

2017

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

**AGROCLIMATE SMART CROP
SEASON: UMA ABORDAGEM NA
SIMPLIFICAÇÃO DE MODELOS DE
SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS DE
AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO**

Daniel Perondi

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

Orientador: Prof. PhD. Clyde W. Fraisse
Coorientador: Prof. Dr. Willingthon Pavan

Passo Fundo

2017

CIP – Catalogação na Publicação

P453a Perondi, Daniel

AgroClimate Smart Crop Season: uma abordagem na simplificação de modelos de simulação para sistemas de auxílio à tomada de decisão / Daniel Perondi. – 2017.
98 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. PhD. Clyde W. Fraisse.

Coorientador: Prof. Dr. Willingthon Pavan.

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –
Universidade de Passo Fundo, 2017.

1. Computação. 2. Simulação (Computadores). 3. Planejamento agrícola. 4. Processo decisório. I. Fraisse, Clyde W., orientador. II. Pavan, Willington Lazaretti, coorientador. III. Título.

CDU: 004.94

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

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

DANIEL PERONDI

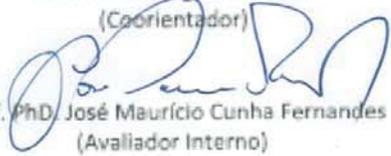
Aos quinze dias do mês de março do ano de dois mil e dezessete, às 17 horas, realizou-se, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências, prédio B5, da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso "AgroClimate Smart Crop Season: Uma abordagem na simplificação de modelos de simulação para sistemas de auxílio à tomada de decisão", de autoria de Daniel Perondi, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA/UPF. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Clyde William Fraisse, Willingthon Pavan, José Maurício Cunha Fernandes e Diego Noleto Luz Pequeno. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.



Prof. PhD. Clyde William Fraisse
Presidente da Banca Examinadora
(Orientador)



Prof. Dr. Willingthon Pavan
(Coorientador)



Prof. PhD. José Maurício Cunha Fernandes
(Avaliador Interno)



Prof. Dr. Diego Noleto Luz Pequeno
(Avaliador Externo)



Prof. Dr. Rafael Rieder
Coordenador do PPGCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Consoladora pela ajuda espiritual e por servirem de fonte de força nos momentos difíceis.

Gostaria de agradecer a minha família. Os meus pais, Celso e Elenice, pela vida, apoio e educação. A minha irmã, Suélen, pela amizade e pelos momentos de alegria.

Agradeço ao professor PhD. Clyde W. Fraisse, por orientar e guiar o desenvolvimento desse trabalho, por servir de exemplo ao longo dessa jornada e acreditar no meu trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Willingthon Pavan, por coo-orientar e auxiliar o trabalho, pelo suporte ao longo desse período e por acreditar no meu trabalho.

Agradeço a Universidade de Passo Fundo, pelo apoio financeiro e material.

Agradeço ao PPGCA e aos professores, pelos momentos de aprendizado e compartilhamento de conhecimento.

Agradeço aos colegas do Grupo Mosaico, por fazerem parte dessa jornada por meio de discussões e companheirismo.

Agradeço aos colegas do Grupo AgroClimate da Universidade da Flórida, por terem me recebido e auxiliado no desenvolvimento desse projeto.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho. Muito obrigado!

“Everything should be made as simple as possible,
but not simpler.”

(Albert Einstein)

AGROCLIMATE SMART CROP SEASON: UMA ABORDAGEM NA SIMPLIFICAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO

RESUMO

Os eventos climáticos extremos como geadas, altas temperaturas e veranico influenciam o desenvolvimento das culturas agrícolas. O conhecimento da probabilidade de um determinado evento climático acontecer em um estágio fenológico é de suma importância para o bom planejamento de uma safra. A utilização de modelos de simulação de culturas associados a essas situações auxilia na tomada de decisão e possibilita a definição das melhores práticas de manejo. Dessa forma, os objetivos deste trabalho são simplificar os módulos fenológicos dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, definir probabilidades de eventos climáticos extremos e desenvolver uma ferramenta baseada na web para a simulação de datas de plantio para culturas agrícolas. Obteve-se como resultados: novos modelos de simulação de estágios fenológicos, que utilizam um menor número de parâmetros para a simulação e simulam a mesma data de ocorrência dos estágios de crescimento, comparados com os modelos originais; algoritmos capazes de analisar dados de estações meteorológicas e definir probabilidades de baixas temperaturas, altas temperaturas e períodos de veranico para cada dia do ano; uma ferramenta que possibilita o gerenciamento de campos e safras do usuário, bem como o planejamento de uma nova safra por meio de simulações que relacionam janelas de estágios fenológicos com eventos climáticos extremos. Dessa forma, os novos modelos de fenologia, desenvolvidos juntamente com a definição de probabilidades de eventos climáticos extremos e a ferramenta web para o planejamento de safras, que foram desenvolvidos nesta pesquisa se tornam relevantes para as áreas da computação, simulação e agricultura.

Palavras-Chave: modelos de simulação, planejamento, fenologia, tomada de decisão, eventos climáticos extremos.

AGROCLIMATE SMART CROP SEASON: AN APPROACH ON SIMPLIFICATION OF CROP MODELS TO DECISION SUPPORT SYSTEMS

ABSTRACT

Extreme weather events such as frost, high temperatures and dry spell periods affect the agricultural crops development. The knowledge about the probability of a specific weather event happen at a phenological stage has a big importance for the good season planning. Using crop simulation models associated with these situations help in decision-making and enables the definition of the best management practices. Thus, the objectives of this work are simplify the CROPGRO-Soybean, CERES-Maize and NWheat phenological modules, define extreme weather events probabilities and develop a web-based tool to simulate the planting dates for agricultural crops. The following results were obtained: new models to simulate phenological stages, using less parameters for the simulation and simulate the same growth stages date occurrence, compared with the original models; algorithms capable of analyze meteorological station data and define probabilities of low temperatures, high temperatures and dry spell periods for each day of the year; a tool that allows the management of fields and seasons, as well as the planning of a new season through simulations which show phenological stages windows with extreme weather events. Thus, the new phenology models developed together with the definition of extreme weather events probabilities and with the web tool for crop planning that were developed in this research become relevant to the areas of computer science, simulation and agriculture.

Keywords: simulation models, planning, phenology, decision making, extreme weather events.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA	19
2.2	FENOLOGIA	19
2.2.1	Fenologia da soja	20
2.2.2	Fenologia do milho	21
2.2.3	Fenologia do trigo	22
2.3	AGROMETEOROLOGIA	23
2.3.1	Graus-dia	23
2.3.2	Fotoperíodo	23
2.3.3	Vernalização	23
2.4	ZONEAMENTO AGRÍCOLA	24
2.5	EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS	24
2.5.1	Temperaturas elevadas	24
2.5.2	Geadas	25
2.5.3	Veranico	26
2.6	MODELOS DE SIMULAÇÃO	26
2.6.1	DSSAT	27
2.6.1.1	CROPGRO-Soybean	28
2.6.1.2	CERES-Maize	28
2.6.1.3	NWheat	29
2.7	TECNOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO	29
2.7.1	MongoDB	29
2.7.2	Node.js	29
2.7.3	OpenCPU	30
2.7.4	R	30
2.7.5	AngularJS	30
2.8	SISTEMAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO	30
3	SIMPLIFICAÇÃO DA FENOLOGIA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS	33
3.1	RESUMO	33

3.2	INTRODUÇÃO	33
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.3.1	Engenharia reversa	34
3.3.2	Arquivos de entrada dos modelos	35
3.3.3	Arquivos de saída dos modelos	35
3.3.4	CROPGRO-Soybean	35
3.3.4.1	Estrutura	35
3.3.4.2	Análise do código original	37
3.3.5	CERES-Maize	39
3.3.5.1	Estrutura	40
3.3.5.2	Análise do código original	41
3.3.6	NWheat	42
3.3.6.1	Estrutura	42
3.3.6.2	Análise do código original	44
3.3.7	Parametrização das simulações	46
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.4.1	Fenologia extraída do CROPGRO-Soybean	46
3.4.2	Fenologia extraída do CERES-Maize	48
3.4.3	Fenologia extraída do NWheat	49
3.5	CONCLUSÃO	50
4	AGROCLIMATE SMART CROP SEASON: UMA FERRAMENTA WEB NO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO	51
4.1	RESUMO	51
4.2	INTRODUÇÃO	51
4.2.1	Produção de soja, milho e trigo nos EUA	52
4.2.2	Modelos de simulação de culturas	52
4.2.2.1	Módulo de fenologia do CROPGRO-Soybean	53
4.2.2.2	Módulo de fenologia do CERES-Maize	53
4.2.2.3	Módulo de fenologia do NWheat	54
4.2.3	Eventos climáticos extremos	54
4.2.4	AgroClimate	54
4.3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	55
4.3.1	Dados meteorológicos	55
4.3.2	Modelagem da fenologia das culturas	55

4.3.3	Modelagem dos eventos climáticos extremos	56
4.3.4	Tecnologias utilizadas	57
4.3.5	Requisitos do sistema	57
4.3.6	Modelagem do banco de dados	58
4.3.7	Estrutura do sistema	60
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.4.1	Sistem Web	61
4.4.1.1	Módulo de Login	61
4.4.1.2	Módulo de Campo	61
4.4.1.3	Módulo de Safra	62
4.5	CONCLUSÃO E PESQUISA FUTURA	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6	CONCLUSÃO	67
7	TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A – Arquivos utilizados nas simulações do CROPGRO-Soybean	79
	APÊNDICE B – Arquivos utilizados nas simulações do CERES-Maize	85
	APÊNDICE C – Arquivos utilizados nas simulações do NWheat	91

1. INTRODUÇÃO

Para prever possíveis cenários agrícolas, diversos modelos de simulação de culturas têm sido desenvolvidos ao longo dos anos. Esses modelos de simulação possuem diversos objetivos, dentre eles, prever o rendimento da colheita de uma cultura, representar a simulação do crescimento e prever riscos de doenças em uma lavoura [1].

O desenvolvimento de modelos de simulação é uma tarefa que requer conhecimento e uma grande base de dados experimentais. Uma das plataformas de simulação que se destaca nesse ambiente é o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), que foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores das universidades da Georgia, Flórida, Hawaii, Guelph e Iowa State, com contribuição do centro internacional para fertilidade do solo e desenvolvimento agrícola (IFDC - *International Center for Soil Fertility and Agricultural Development*). A plataforma DSSAT possui 42 modelos de simulação de culturas, nos quais são simuladas culturas de soja, milho, trigo, cana-de-açúcar, mandioca, etc. [2].

De acordo com Fernandes [3], a crescente evolução das tecnologias de informação baseadas na internet possibilitou avanços na produção de sistemas de auxílio à tomada de decisão na agricultura. Alguns desses sistemas são capazes de enviar notificações, por meio de e-mails, aplicativos e mensagens de texto a produtores sobre a situação da doença em uma determinada cultura [4].

Entretanto, muitos modelos de simulação apresentam grande complexidade e requerem uma grande quantidade de dados para serem executados, o que, em alguns casos, torna o seu uso inviável [5]. Mesmo que um modelo complexo seja mais preciso do que um simples, os modelos simples são preferíveis em alguns casos porque são mais fáceis de compreender e são mais eficientes de se mudar, implementar e analisar [6].

Outro desafio é a definição da melhor data de plantio na agricultura. Frequentemente, usa-se um calendário gregoriano para prever o desenvolvimento da planta, e, com isso, tomar decisões de gestão, como a aplicação de produtos químicos ou a realização de adubação foliar. No entanto, os dias de um calendário podem ser enganadores, especialmente para as fases iniciais de crescimento da cultura, quando cada ano vai resultar em diferentes respostas em relação às condições climáticas [7].

Buscar a melhor data de semeadura em meio a tantas condições é de fundamental importância. A atividade de relacionar os estádios fenológicos com a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos, como altas temperaturas, veranico e geada, torna-se difícil para uma pessoa, por isso, um software que possibilite a apresentação dessas informações de forma agradável ao usuário pode auxiliar na tomada de decisão.

A combinação dos modelos de simulação de culturas com as tecnologias de programação Web e bancos de dados possibilita a construção de sistemas de apoio à tomada de decisão. Essa combinação gera informações úteis para auxiliar no manejo e, conseqüentemente, na produção das culturas agrícolas, tornando essas tecnologias acessíveis a produtores e técnicos.

Visando apresentar alternativas para essas questões. Este trabalho tem como objetivos:

- extrair os módulos fenológicos dos modelos de simulação CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, e reescrevê-los, objetivando a criação de pacotes na linguagem R;
- determinar probabilidades de eventos climáticos extremos em séries de dados históricos diários;
- desenvolver uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, constituída por um software baseado na web com acesso a uma base de dados.

Haja visto a diversidade dos objetivos apresentados, este trabalho divide-se nas seguintes etapas: o capítulo dois apresenta a revisão da literatura, apresentando conceitos e tecnologias utilizadas; o capítulo três apresenta-se em formato de artigo científico, que aborda o processo de extração do módulo fenológico dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat. O capítulo 4, também em formato de artigo científico aborda a definição das probabilidades de eventos climáticos extremos e o desenvolvimento de uma ferramenta baseada na web para a simulação de estádios fenológicos e probabilidades de eventos climáticos extremos. Nos capítulos 5 e 6, são apresentadas as considerações finais e as conclusões deste trabalho, por fim, no capítulo 7 os trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos e tecnologias que fornecem suporte e embasamento para o desenvolvimento do trabalho. Dessa forma, é apresentada uma breve revisão sobre o desenvolvimento de plantas e os estádios fenológicos das culturas de soja, milho e trigo. Em seguida são apresentados conceitos sobre zoneamento agrícola, modelos de simulação, eventos climáticos extremos e, por fim, as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA

O crescimento da planta é conhecido como o processo de aumento da biomassa. Pode-se caracterizar o desenvolvimento das plantas como o processo em que a planta passa pelas diversas fases fenológicas. O gás carbônico absorvido com a água e os sais minerais são as matérias primas para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A planta utiliza a fotossíntese, durante o dia, e a respiração, durante a noite, como atividades para o seu desenvolvimento. Os acontecimentos principais no ciclo de vida de uma planta de ciclo anual são a germinação, o crescimento vegetativo, a floração, a frutificação, a formação de sementes e a senescência, que se sucedem ano a ano [8].

Um vegetal de cultivo anual apresenta diferentes fases de desenvolvimento. No início do desenvolvimento, a planta depende de reservas de energia contidas na semente. Após o surgimento das raízes e das folhas, o crescimento acontece mais rápido devido à fotossíntese. Após completar os estádios vegetativos, a planta entra em processo de senescência e redução de massa seca [9].

2.2 FENOLOGIA

O uso prático da fenologia é relacionado com estudos que estabelecem correlações entre os eventos fisiológicos e bioquímicos em uma planta, juntamente com suas características morfológicas – por exemplo o número e os tipos de folhas, a presença de estruturas reprodutivas e fruto –, promovendo segurança e precisão nas atividades de manejo e de pesquisa [10].

Os estádios fenológicos detalham as etapas de desenvolvimento das plantas. A passagem de um estágio fenológico para outro é caracterizada por transformações na planta. Essas transformações ocorrem nos processos de crescimento e de desenvolvimento, como a germinação, a brotação, o florescimento, o espigamento e a maturação [11].

De acordo com Wagner [11], a previsão dos estádios fenológicos é importante no planejamento das melhores épocas de semeadura e nos estudos de adaptação de cultivares. As aplicações da fenologia determinam os períodos críticos das culturas, auxiliando nos períodos em que há maior demanda de necessidade de água, na elaboração dos zoneamentos agrícolas, para épocas de melhor aplicação de fertilizantes, e para a classificação de cultivares quanto ao manejo de pragas.

2.2.1 Fenologia da soja

A soja (*Glycine max L.*) é uma cultura agrícola com relevância no Brasil e, na safra 2015/2016, a produção foi estimada em 95.4 milhões de toneladas [12]. A temperatura do ar e o fotoperíodo são as variáveis climáticas de superfície que mais afetam essa cultura. A temperatura afeta positivamente o desenvolvimento da soja, porém, a sua sensibilidade ao fotoperíodo pode interferir no seu desenvolvimento [13].

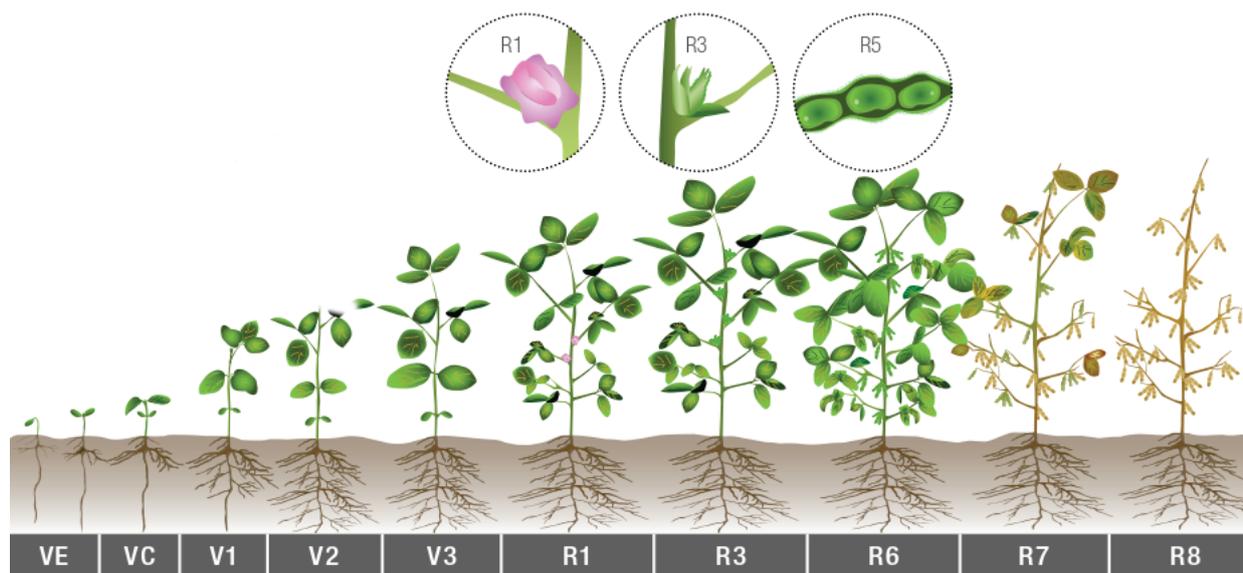


Figura 1. Ilustração dos estádios fenológicos da soja [14].

O desenvolvimento da soja é dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R) (Figura 1). As divisões da fase vegetativa são representadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, exceto os dois primeiros estádios, que são definidos como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). O último estágio vegetativo é definido como Vn, sendo que “n” representa o número do último nó vegetativo formado pela cultivar. O valor de “n” varia em função das diferenças genéticas e de fatores ambientais. A fase reprodutiva apresenta oito estádios, cujas representações numéricas e respectivos nomes são apresentados na Tabela 1 [15].

Tabela 1. Escala fenológica da soja de Fehr e Caviness [16].

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE - Emergência	R1 - Início do florescimento
VC - Cotilédone	R2 - Pleno florescimento
V1 - Primeiro nó	R3 - Início da formação das vagens
V2 - Segundo nó	R4 - Plena formação das vagens
V3 - Terceiro nó	R5 - Início do enchimento das sementes
*	R6 - Pleno enchimento das vagens
*	R7 - Início da maturação
V(n) - enésimo nó	R8 - Maturação plena

2.2.2 Fenologia do milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura agrícola produzida no Brasil e sua produção na safra 2015/2016 foi estimada em 68,4 milhões de toneladas [12]. A cultura possui ciclo de desenvolvimento variável, devido à sua sensibilidade a variáveis climáticas, como a temperatura do ar. Os estádios fenológicos são definidos a partir do acúmulo térmico, também conhecido como graus-dia [17].

A Figura 2 apresenta ilustradamente os estádios fenológicos da cultura do milho, subdivididos em estádios vegetativos e estádios reprodutivos.

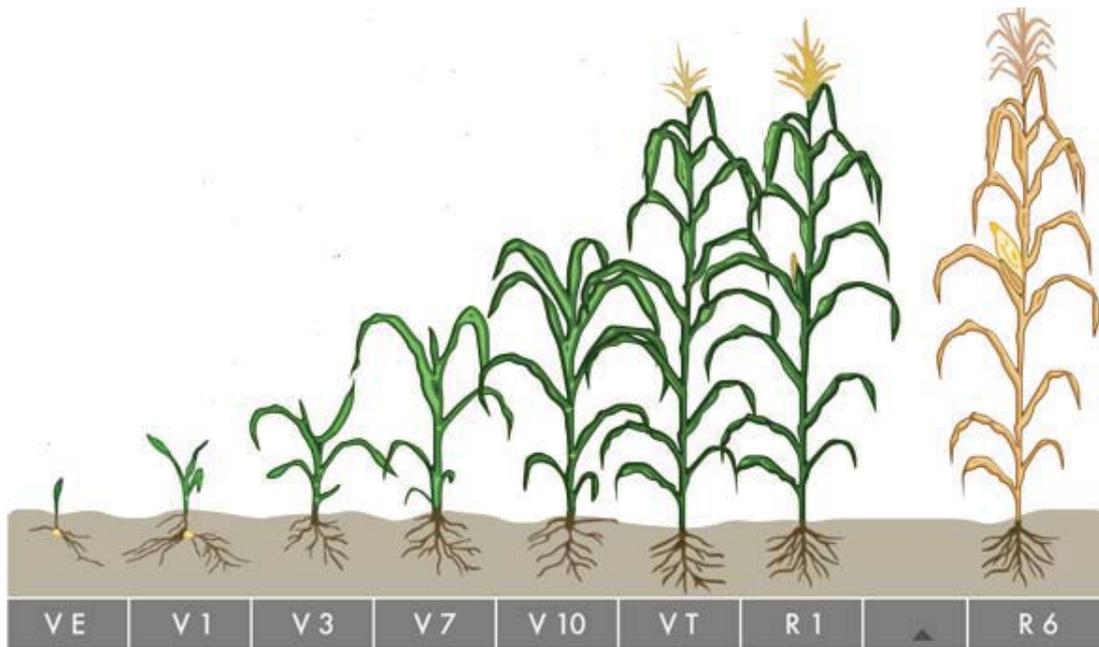


Figura 2. Estádios fenológicos do milho [14].

A Tabela 2 apresenta os estádios fenológicos do milho. Os símbolos que representam os estádios vegetativos são formados pela letra V e um algarismo que corresponde ao número de folhas totalmente desenvolvidas, exceto o primeiro estágio (VE), que corresponde à emergência da semente. Os estádios reprodutivos são representados pela letra R, que se divide em seis fases, quais sejam pendoamento (R1), grão leitoso (R2), grão pastoso (R3), grão farinácio (R4), grão farinácio duro (R5) e maturação fisiológica (R6).

Tabela 2. Escala fenológica do milho. Adaptado de Bergamaschi [18].

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE - Emergência	R1 - Pendoamento
V1 - Primeira folha	R2 - Grão leitoso
V2 - Segunda folha	R3 - Grão pastoso
V3 - Terceira folha	R4 - Grão farinácio
V4 - Quarta folha	R5 - Grão farinácio - duro
V(n) - até o pendoamento	R6 - Maturação fisiológica

2.2.3 Fenologia do trigo

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) é produzida no Brasil e a sua produção nacional na safra 2015/2016 foi estimada em 6,2 milhões de toneladas. O ciclo de vida da cultura pode ser dividido em duas fases [19]:

- vegetativa - ocorre entre o início da formação das folhas do colmo principal até a formação do primeiro primórdio floral;
- reprodutiva - ocorre entre a floração e a maturação fisiológica.

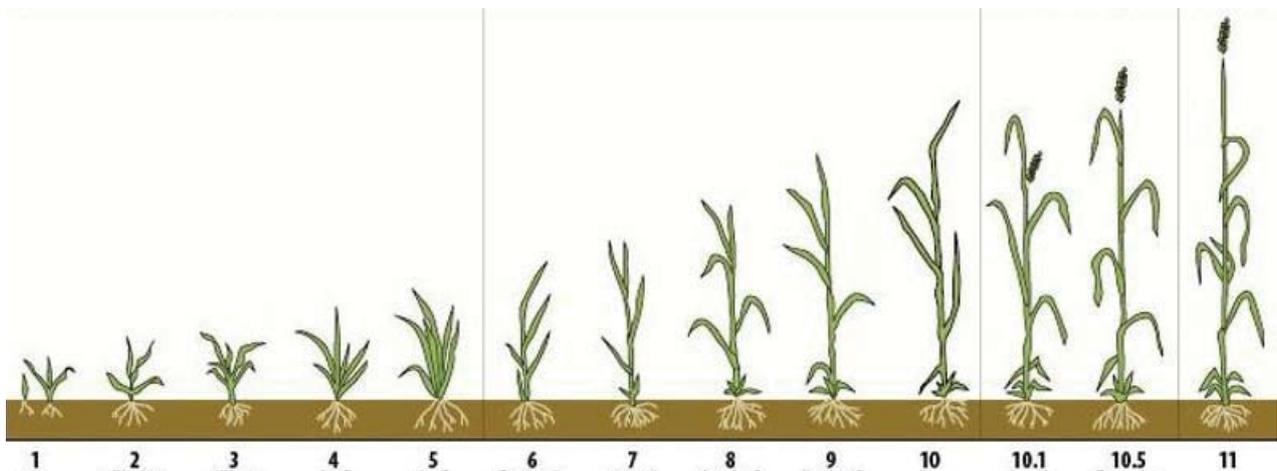


Figura 3. Figura com os estádios fenológicos do trigo [20].

De acordo com Miller [21], existem no mundo cinco escalas fenológicas do trigo, mas a mais utilizada é a de Feekes (Figura 3). A Tabela 3 apresenta os estádios fenológicos do trigo baseados na escala de Feekes. A cultura possui 11 estádios fenológicos, que se iniciam na emergência da planta e finalizam com o amadurecimento.

Tabela 3. Escala fenológica do trigo. Adaptado de Miller [21].

Estádio fenológico	Característica
1	Emergência do coleóptilo e das primeiras folhas.
2	Início do perfilhamento.
3	Perfilhos formados.
4	Início da ereção do pseudocolmo (formado pelas bainhas).
5	Pseudocolmo ereto.
6	Primeiro nó do colmo visível.
7	Segundo nó do colmo visível.
8	Folha bandeira visível.
9	Lígula da folha bandeira visível.
10	Espigamento e florescimento
11	Formação do grão e amadurecimento

2.3 AGROMETEOROLOGIA

2.3.1 Graus-dia

Segundo Hamada [22], o conceito de graus-dia é definido como o acúmulo térmico entre uma temperatura mínima e uma máxima. A temperatura que fica nessa faixa influencia diretamente no desenvolvimento da planta. O acúmulo térmico é uma estimativa usada para definir o desenvolvimento da planta em relação à temperatura. Com esse conceito, assume-se que há uma relação linear entre a taxa de desenvolvimento da planta e a temperatura média, dentro de limites de temperaturas máxima e mínima [23].

As expressões graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) foram criadas para superar algumas situações inadequadas no calendário fenológico, e também para o zoneamento agroclimático das culturas, haja visto que a temperatura tem influência sobre o desenvolvimento das plantas [24].

2.3.2 Fotoperíodo

Segundo Camara [25], o fotoperíodo é uma variável definida pela quantidade de luminosidade que ocorre durante as 24 horas de um dia, porém, também pode ser definida como o período de tempo entre o nascer e o pôr do sol. O fotoperíodo influencia o crescimento e o desenvolvimento de diversas culturas, como é o caso da soja, que apenas atinge a fase reprodutiva se o fotoperíodo crítico for atingido [26].

A latitude é um fator determinante do fotoperíodo. Na cultura da soja, o fotoperíodo afeta a velocidade de desenvolvimento do estágio de emergência até a indução floral e particularmente determina o tempo para a floração [25].

2.3.3 Vernalização

De acordo com Alberto [27], vernalização é o processo em que a planta desenvolve-se sobre efeito de temperaturas baixas não congelantes, entre os estádios de germinação e floração. Alguns cereais de inverno, como o trigo, desenvolveram esse mecanismo como forma de proteção contra baixas temperaturas.

A resposta das plantas à vernalização é determinada por alguns fatores como a temperatura durante a vernalização e a duração desse período. Quanto à temperatura, a vernalização possui temperaturas mínima, ótima e máxima.

2.4 ZONEAMENTO AGRÍCOLA

O zoneamento agrícola foi criado a partir de uma parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Com essa parceria foi implantado, por parte do Ministério, o Projeto de Redução de Riscos Climáticos na Agricultura a partir de outubro de 1995, esse foi o primeiro passo para a criação do Zoneamento Agrícola no Brasil [28]. De acordo com Rossetti [29], o projeto tinha por objetivo o desenvolvimento de estudos de regionalização dos sinistros climáticos no Brasil, visando minimizar as perdas na produção agrícola, disponibilizando ao produtor rural técnicas que permitiriam fugir de riscos climáticos devidos ao regime de chuva.

O plantio das culturas na época adequada afeta o rendimento e, conseqüentemente, o lucro do agricultor. Para a tomada de decisão quanto à época ideal de plantio, é importante conhecer os fatores de riscos relacionados à produtividade agrícola. O sucesso da produção agrícola depende de vários elementos, dentre eles os riscos climáticos.

2.5 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

A agricultura é uma das atividades realizadas pelo ser humano mais dependente das condições climáticas. Os eventos climáticos extremos afetam diretamente o desenvolvimento das culturas pois fatores como temperatura, pluviosidade e radiação solar são determinantes para que as plantas atinjam seus estádios fenológicos. Segundo Sentelhas [26], as condições meteorológicas que ocorrem durante o cultivo podem provocar uma variabilidade da produção agrícola em 80%. Além de interferir no desenvolvimento das culturas, o clima afeta a relação das plantas com microrganismos, insetos e fungos, influenciando diretamente na ocorrência de pragas e doenças sobre a lavoura.

2.5.1 Temperaturas elevadas

Outras condições meteorológicas que influenciam durante o ciclo de desenvolvimento de uma cultura são as altas temperaturas. Em regiões temperadas, as cultivares irão realizar o seu ciclo de forma mais precoce, adiantando o amadurecimento, e, conseqüentemente, diminuindo os rendimentos em reposta às temperaturas mais altas [30].

As temperaturas elevadas podem reduzir o período de cultivo e impactar na produtividade da cultura do milho [31]. A Figura 4 apresenta o impacto de altas temperaturas juntamente com a estiagem na cultura de milho.



Figura 4. Efeito de temperaturas elevadas e estiagem na cultura do milho [31].

2.5.2 Geadas

A geada é considerada quando, por meio de baixas temperaturas, ocorre a formação de gelo sobre uma determinada superfície. É um risco climático que pode afetar a cultura do trigo, principalmente se ocorrer na floração da cultura. Algumas consequências da ocorrência de geada são a queima de folhas, o estrangulamento dos colmos e, atingindo os primórdios florais, a não formação de grãos [32].

A geada pode danificar a estrutura da planta e até mesmo fazer com que seu ciclo de desenvolvimento fique incompleto. Na Figura 5 e na Figura 6, são apresentados os efeitos da geada nas culturas de trigo e milho, respectivamente.



Figura 5. Efeito da geada na cultura do trigo [33].



Figura 6. Efeito da geada na cultura do milho [34].

2.5.3 Veranico

Algumas condições meteorológicas podem provocar a ocorrência de déficit hídrico, provocando o que chamamos de veranico, período que pode se estender de 2 ou 3 dias até 15 ou 30 dias. Os veranicos podem provocar riscos ao processo de produção de uma cultura. O déficit hídrico é caracterizado pela redução do potencial hídrico da planta, provocando a redução do crescimento e consequentemente, redução da produção final [35].

De acordo com Carvalho [36], a influência do veranico sobre a produtividade das culturas pode ser acentuada, principalmente quando o evento climático acontece quando a planta é mais sensível à deficiência hídrica. Para a cultura do milho, perdas de 20 a 70% na produção podem acontecer se o veranico acontecer na época de reprodução.

Nas Figuras 7 e 8, são apresentados os efeitos de veranico nas culturas de milho e soja, respectivamente.



Figura 7. Efeito do veranico na cultura do milho [37].



Figura 8. Efeito do veranico na cultura da soja [38].

2.6 MODELOS DE SIMULAÇÃO

Segundo Medina [39], modelos de simulação são uma representação da realidade, e têm o propósito de representá-la da maneira mais simplificada. A simulação pode ser considerada como o processo de elaboração de um modelo de um sistema real, e a realização de experimentos com o objetivo de entender o comportamento de um sistema ou avaliar o seu funcionamento [6].

Os modelos de simulação fornecem suporte para a análise quantitativa e integrada dos sistemas agrícolas. O tempo para realizar um experimento no campo e para testar todas as combinações possíveis de fatores que reagem ao sistema solo-planta-atmosfera é geralmente demorado e de alto custo monetário. Nos últimos anos, a aplicação de modelos de simulação tornou-se cada vez mais importante, principalmente para estudar as relações entre agricultura e ambiente [40].

Segundo Lazzaretti [1], os modelos de simulação são importantes para estimar o rendimento da colheita de culturas agrícolas, bem como representar a simulação do desenvolvimento de uma planta, por meio de equações matemáticas. A utilização dos modelos de simulação, para prever riscos de doenças no campo ou estimar cenários de risco, tem se tornado um importante fator de auxílio à tomada de decisão.

2.6.1 DSSAT

Os modelos de simulação escolhidos para serem extraídos fazem parte da plataforma DSSAT. Também denominada de DSSAT-CSM (*Crop System Model*), a estrutura foi evoluindo e sendo particionada ao longo das versões disponibilizadas. De acordo com Jones [41], o objetivo do DSSAT é simular sistemas de produção de monoculturas considerando dados meteorológicos, dados de solo, coeficientes genéticos e informações de manejo para fornecer uma plataforma a fim de incorporar facilmente novos módulos.

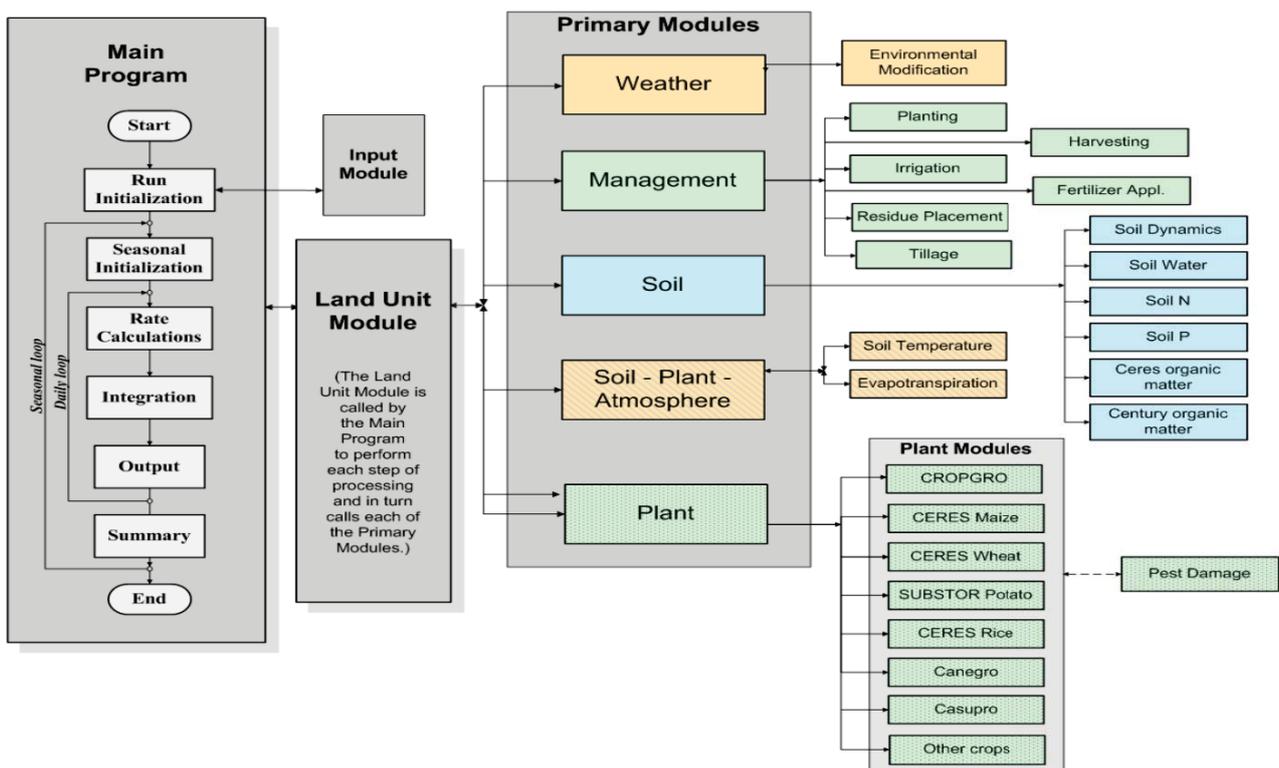


Figura 9. Diagrama da plataforma, apresentado em módulos [42].

A Figura 9 apresenta os principais componentes da plataforma DSSAT, que incluem:

- um módulo denominado *Main Program* que controla o tempo e o momento para cada simulação;
- um módulo denominado *Land Unit Module*, que gerencia todos os processos de simulação que afetam uma unidade terrestre;

- módulos primários que simulam individualmente os diversos processos que afetam a unidade terrestre, incluindo tempo, crescimento de plantas, processos do solo, interface solo-planta-atmosfera e práticas de manejo.

Cada módulo possui seis passos operacionais (iniciar execução, iniciar safra, cálculos de taxa, integração, saída de dados diária e saída do sumário de dados). O bloco denominado *Main Program* controla os seguintes eventos: iniciar a simulação, simular as safras, realizar os cálculos para cada dia da safra e apresentar a saída dos dados para os dias das safras [42].

Na estrutura da Figura 9, os sub-módulos funcionam exatamente como os módulos primários, uma vez que cada módulo normalmente executa duas ou mais das seis etapas (inicialização de inicialização, inicialização sazonal, cálculos de taxa, integração, saída diária e sumário sazonal) [42].

Dentro do módulo primário *Plant*, estão acoplados os *templates* das culturas agrícolas. Em cada um dos *templates*, encontram-se as regras para simular o desenvolvimento e o crescimento de cada espécie.

2.6.1.1 CROPGRO-Soybean

O CROPGRO é um modelo de simulação orientado a processos que foi desenvolvido com base nas características dos modelos de simulação mais antigos, como o SOYGRO, o BEANGRO e o PNUTGRO [43], e foi escrito na linguagem de programação Fortran. Esse modelo genérico para leguminosas possibilita a simulação do crescimento e desenvolvimento de várias culturas, como feijão, amendoim e soja [44].

Segundo Dallacort [45], esse modelo foi desenvolvido principalmente para a cultura da soja, permitindo as simulações dos processos físicos e fisiológicos, tais como fotossíntese; respiração; acúmulo de biomassa; fenologia; crescimento foliar, de caules e de raízes; extração de água do solo; evapotranspiração e produção da soja, respondendo à variação de dados meteorológicos de entrada, como precipitação, radiação solar e temperatura.

O modelo CROPGRO contido dentro do DSSAT simula o crescimento e o desenvolvimento da planta do estágio de germinação até a maturidade, utilizando, para tal, um intervalo de tempo diário. Os processos fisiológicos utilizam a resposta da cultura aos fatores climáticos e caracterizações do solo, tais como a quantidade de água extraída do solo e nutrientes, para executar a simulação [46].

2.6.1.2 CERES-Maize

O modelo CERES-Maize simula o crescimento e o desenvolvimento do milho. A produtividade e o desenvolvimento da cultura são calculados pelos balanços de água, nitrogênio e carbono. O modelo analisa os efeitos do manejo da cultura, tais como época de semeadura, uso de irrigação, população de plantas e adubação nitrogenada [47].

Para o modelo CERES-Maize, a taxa de desenvolvimento é definida pelo tempo térmico, ou graus-dia, que é calculada com base na temperatura mínima e máxima diária. Os GDA necessários para progredir de um estágio de crescimento para outro podem ser definidos pelo usuário ou podem utilizar valores estabelecidos como padrão pelo próprio modelo [42].

2.6.1.3 NWheat

O modelo de simulação NWheat possui capacidade de simular a cultura do trigo e foi desenvolvido inicialmente pela plataforma APSIM. Atualmente, encontra-se em adaptação para integrar a plataforma DSSAT. O NWheat incorpora aspectos de solo, água e nitrogênio BEM COMO o desenvolvimento da cultura e as suas respectivas interações entre solo e cultura. A simulação é baseada em cálculos diários [48].

A estrutura do NWheat foi fortemente influenciada pelos modelos CERES da plataforma DSSAT, mas com consideráveis modificações. As modificações incluem a troca das rotinas de déficit hídrico, inclusão de efeitos de alta temperatura na senescência da folha, danos causados pela geada e eficiência do uso da radiação [49].

2.7 TECNOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO

As tecnologias listadas na sequência serão citadas ao longo do trabalho por fornecerem suporte ao desenvolvimento do projeto.

2.7.1 MongoDB

O MongoDB é um banco de dados orientado a documentos sob licença GNU AGPL v3.0. Foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++. O servidor de MongoDB pode armazenar um ou mais bancos de dados distintos. Cada banco de dados é constituído por uma ou mais coleções e cada coleção pode ter um ou mais documentos. Esses documentos são estruturados como documentos JSON e armazenados no formato Binary JSON (BSON) [50]. JavaScript Object Notation (JSON) é uma estrutura de dados criada em javascript, consistindo no padrão atributo/valor, parecido com arrays.

2.7.2 Node.js

Noje.js é um ambiente para o desenvolvimento de aplicações no lado servidor. Foi construído baseado na engine V8 do Google e é implementado com as linguagens de programação C e C++. Seu foco é no alto desempenho e baixo consumo de memória [51]. Aplicações Node.js podem ser escritas utilizando a linguagem de programação JavaScript.

O Node.js foca na fácil construção de aplicações e escaláveis aplicações de rede. Com isso, o framework implementa um modelo baseado em eventos e de forma não bloqueante (non-blocking I/O) [52].

2.7.3 OpenCPU

OpenCPU é uma HTTP API (*Application Program Interface*) para construção de serviços utilizando a linguagem de programação R. OpenCPU é composto por duas implementações. O pacote R `opencpu`, que faz uso do servidor Web `httpuv` para implementar uma aplicação interativa com a sessão do R, e o servidor `opencpu`, que é uma implementação multi-usuário baseada em Ubuntu Linux e rApache [53].

2.7.4 R

R é um ambiente de desenvolvimento e uma linguagem de programação voltada para o desenvolvimento de cálculos estatísticos e modelos de simulação, que contem uma diversidade de pacotes que dão suporte ao desenvolvimento de aplicações [54].

Além de ser uma linguagem de programação suportada por uma grande comunidade aberta, a tecnologia possui uma grande variedade de pacotes disponíveis no seu repositório (<http://cran.rproject.org/src/contrib/PACKAGES.html>), sendo possível encontrar e instalar funções para os mais diversos fins [55].

2.7.5 AngularJS

AngularJS é um framework JavaScript MVC (Model-View-Controller) desenvolvido e mantido pela Google para o desenvolvimento de aplicações Web [56]. E framework trabalha com uma estrutura de data-bind, na qual as variáveis definidas no Controller são refletidas na View da aplicação. A utilização do padrão MVC facilita que o código seja organizado em camadas distintas, ajudando no desenvolvimento e em testes da aplicação.

2.8 SISTEMAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO

Um sistema de apoio à decisão é um conjunto de programas baseados em computador, os quais auxiliam no processo de tomada de decisão. Sua importância se dá porque os sistemas de produção e processamento agrícola são complexos devido aos diversos processos biológicos, químicos e processos físicos envolvidos, o que requer uma grande quantidade de dados para serem processados. Uma ferramenta que ajuda a auxiliar o processo de tomada de decisão aumenta a probabilidade de que a informação apropriada seja utilizada [57]. Esses programas de apoio trabalham com grandes

quantidades de dados e com cálculos complexos, assim como procedimentos numéricos baseado em computador.

Um exemplo de sistema no auxílio à tomada de decisão é a ferramenta desenvolvida por Pavan [4], que consiste na simulação de doenças do morango, Botrytis e Antracnose, a qual possibilita envio de alertas por meio de mensagens e e-mails aos agricultores, como forma de informar sobre o processo da doença, sugerindo um possível controle por meio de fungicidas.

Outro exemplo, é o sistema projetado por Chevalier, o qual desenvolveu uma ferramenta Web para auxiliar agricultores do estado da Geórgia, nos Estados Unidos da América (EUA) na predição do risco de geada [58]. O objetivo do desenvolvimento desse sistema foi o envio de alertas aos produtores sobre o risco de geada.

Pan [59] desenvolveu uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, baseada na Web, para a simulação do crescimento de culturas. Essa ferramenta foi criada para estudos de simulação do crescimento das plantas, onde os usuários podem escolher uma espécie de planta e diferentes condições de clima e solo, dados agronômicos de entrada, assim como data de plantio e espaçamento entre linhas. A saída da execução do modelo é exibida em forma gráfica e textual, em que variáveis de estado como eventos fenológicos, índice de área foliar, altura da planta, biomassa, fotossíntese e evapotranspiração eram apresentados. Esse software era chamado OWSimu e foi desenvolvido na linguagem de programação Java, com o paradigma de orientação à objetos.

Silva [60] desenvolveu um sistema que teve como objetivo a apresentação dos riscos climáticos, através da apresentação da frequência de alguns eventos climáticos, para auxiliar agricultores na escolha das melhores épocas de cultivo. O sistema foi desenvolvido em Delphi e a simulação da cultura era feita por meio do acúmulo térmico.

3. SIMPLIFICAÇÃO DA FENOLOGIA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CULTURAS

3.1 RESUMO

Diversos modelos de simulação vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos com a intenção de auxiliar no entendimento de cenários reais. Modelos de simulação aplicados na agricultura são cada vez mais utilizados para a compreensão da dinâmica do desenvolvimento de culturas, pragas e doenças. Contudo, a busca por desenvolver modelos mais complexos e precisos torna a utilização destes, em alguns casos, inviável, devido ao grande número de parâmetros de entrada que são necessários. Este trabalho tem como objetivo a simplificação da simulação da fenologia dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat por meio da reescrita dos módulos fenológicos utilizando a linguagem de programação R. Os novos modelos de fenologia são capazes de simular os estádios fenológicos das culturas de soja, milho e trigo, bem como utilizar uma menor quantidade de arquivos e parâmetros de entrada para a simulação. Foram realizadas comparações entre a data de ocorrência dos estádios fenológicos dos novos modelos e dos modelos originais, o que permitiu que se observasse a igualdade dos resultados.

3.2 INTRODUÇÃO

Modelos de simulação são implementados por computadores e representados por uma linguagem de programação. São excelentes para representar sistemas que possuem um grande número de variáveis e que são caracterizados pela complexidade em sua dinâmica [6]. Os modelos de simulação são utilizados em diversas áreas do conhecimento, dentre as quais a agricultura. Nessa área, há muitos anos vêm sendo desenvolvidos modelos de simulação, alguns com base em variáveis meteorológicas com a intenção de simular o crescimento de plantas, e outros para a definição de índices agrícolas [61].

Uma das principais e mais populares plataformas de simulação de culturas agrícolas é o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), o qual possui um conjunto de 42 modelos de simulação de culturas, dentre os quais se destacam os modelos CROPGRO, para a simulação de leguminosas e outras culturas (soja, amendoim, feijão seco, grão de bico, caupi, feijão, tomate, mucuna, braquiária, gramíneas); CERES, para a simulação de cereais (milho, trigo, sorgo, cevada e arroz); e NWheat, para simulação do trigo. Nos trabalhos relacionados com o CROPGRO, a nomenclatura CROPGRO-Soybean é encontrada para enfatizar a simulação da soja. Já nos trabalhos relacionados ao modelo CERES, a nomenclatura CERES-Maize é encontrada para enfatizar a simulação do milho. Esses modelos de simulação são conhecidos pela complexidade e pelo grande número de parâmetros de entrada para realizar a simulação. Para cada modelo, coeficientes de solo, espécie, ecótipo e cultivar precisam ser fornecidos para que as simulações sejam executadas [41].

O modelo de simulação CROPGRO foi desenvolvido com base nos modelos SOYGRO, PNUTGRO e BEANGRO. Foi escrito com a linguagem de programação Fortran e os seus arquivos de entrada e saída são arquivos de texto [62]. Pode simular os processos físicos e fisiológicos da cultura, tais como: fotossíntese, fenologia, crescimento foliar, extração da água do solo e acúmulo de biomassa [45].

O modelo de simulação CERES-Maize é orientado a processos capazes de simular balanço hídrico, balanço de nitrogênio, desenvolvimento e crescimento do milho. O modelo é executado em cálculos diários e computa o estado das variáveis para cada dia após o plantio [63].

NWheat é um modelo que simula o desenvolvimento e a produtividade do trigo, que inicialmente foi projetado para fazer parte da plataforma *Agricultural Production Systems sIMulator* (APSIM) [64]. O modelo desenvolvido foi fortemente influenciado pelas abordagens usadas no CERES-Wheat da plataforma DSSAT, mas diversas modificações vêm sendo feitas. O trabalho realizado por Kassie et al. teve como um dos objetivos a integração do modelo com a plataforma DSSAT. Essa integração possibilitou que o modelo utilizasse as funções de água, solo e nutrientes da plataforma, bem como a estrutura de arquivos de cultivar, ecótipo e espécie [65].

De acordo com Detomini [5], alguns modelos de simulação, como o CERES-Maize, são complexos e a sua execução requer uma grande quantidade de parâmetros para executar o modelo, provocando limitação no seu uso devido à dificuldade em obter os dados requeridos. Contudo, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a abordagem de simplificação de modelos de simulação. O trabalho desenvolvido por Chwif [6] apresenta os prós e os contras da utilização de modelos simples e complexos. De acordo com o autor, mesmo que um modelo complexo seja mais preciso do que um simples, os modelos simples em algumas situações são preferíveis porque são mais fáceis de compreender e são mais eficientes de se mudar, implementar e analisar.

Este trabalho tem como objetivo a simplificação da simulação da fenologia dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, por meio da reescrita dos módulos utilizando a linguagem de programação R, a fim de que os modelos sejam executados com um conjunto menor de variáveis, e, com isso, prover as mesmas datas de ocorrência dos estádios fenológicos comparado aos resultados dos modelos originais.

Neste capítulo, são apresentados os métodos utilizados na simplificação dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, com o objetivo de extrair os módulos fenológicos destes, bem como de exibir os resultados obtidos após a sua simplificação. Por fim, a conclusão do trabalho desenvolvido é apresentada.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Engenharia reversa

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas técnicas de engenharia reversa, como a extração das informações. Com essa técnica, é possível realizar a análise estática, que con-

siste na análise do código-fonte, permitindo que sejam extraídas informações como os componentes básicos do sistema: arquivos, rotinas e variáveis. Outra fonte de informação que auxiliou a extração da fenologia foi a documentação da plataforma DSSAT, por meio da qual foram localizadas as descrições do fluxo de simulação, bem como a descrição das variáveis dos modelos [66].

Com base na engenharia reversa, foram elaborados diagramas representando a distribuição dos arquivos utilizados pelos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, bem como o fluxo da simulação realizado pelos algoritmos, que são apresentados nas Figuras 10, 13 e 15.

3.3.2 Arquivos de entrada dos modelos

Os modelos de simulação contidos na plataforma DSSAT fazem uso de arquivos de entrada que são escritos em um formato específico e pré-definido. Os arquivos necessários para simulação dos modelos incluem arquivos de solo (*.SOIL), arquivos com dados climáticos (*.WTH), arquivos com coeficientes genéticos (*.CUL, *.ECO, *.SPE) e arquivos com os tratamentos a serem simulados (*.MZx para o CERES-Maize, *.SBG para o CROPGRO-Soybean e *.WHX para o NWheat) [67].

3.3.3 Arquivos de saída dos modelos

Os modelos de simulação contidos na plataforma DSSAT possuem arquivos de saída com o mesmo formato: na saída da simulação, encontram-se arquivos com dados da fenologia da cultura. O arquivo PlantGro.OUT exibe valores diários gerados pela simulação, já o arquivo Overview.OUT fornece a data da ocorrência de cada estágio fenológico e o resumo da simulação [42].

3.3.4 CROPGRO-Soybean

Para que uma simulação do CROPGRO-Soybean seja efetuada, o arquivo de tratamentos (*.SBG) precisa ser fornecido ao modelo. Nesse arquivo, estão os parâmetros: data de plantio (YYYYDDD), profundidade do plantio (cm), cultivar escolhida, ID da estação meteorológica e ID do solo. Nessa seção, fatores como estresses hídricos e de nutrientes não são considerados nas simulações, ou seja, são desligados na simulação do DSSAT e não são abordados para serem reescritos.

3.3.4.1 Estrutura

Para que a fenologia do CROPGRO-Soybean seja simulada, alguns arquivos são necessários. Na Figura 10, apresenta-se um diagrama com os arquivos e as funções utilizadas, bem como a direção da chamada das funções. Os arquivos citados na seção 3.3.2 formam a entrada de dados do modelo, e os arquivos citados da seção 3.3.3 formam a saída de dados do modelo.

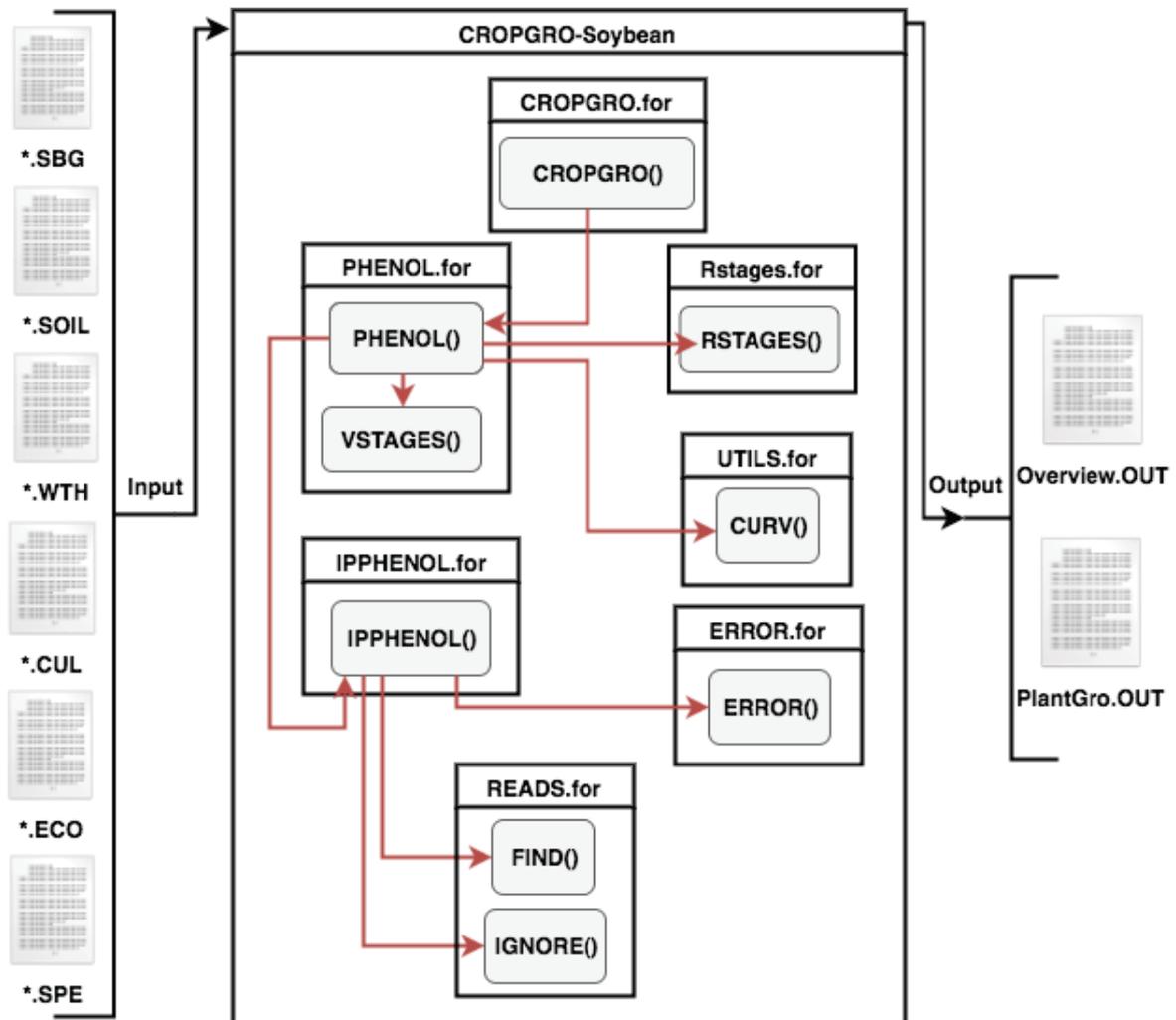


Figura 10. Arquivos de entrada (*input*), código-fonte e saída (*output*) utilizados na simulação da fenologia do CROPGRO-Soybean. As caixas contidas no diagrama representam os arquivos Fortran. Os retângulos com cantos arredondados representam as funções contidas no código-fonte. As flechas em vermelho apresentam a chamada de uma função para outra, sendo que a ponta da flecha indica a função requisitada.

Na lista a seguir, são apresentadas e descritas as funções utilizadas pela fenologia no CROPGRO-Soybean (Figura 10) [42].

- CROPGRO(): É chamada pelo módulo PLANT do DSSAT e controla as demais funções dentro do modelo CROPGRO.
- PHENOL(): É o principal componente do módulo de fenologia. Essa função solicita o carregamento na memória dos dados por meio da função IPPHENOL(). Durante a simulação, as funções VSTAGES(), RSTAGES() e CURV() são invocadas.
- IPPHENOL(): Lê as variáveis necessárias dos arquivos de entrada (*.CUL, *.ECO, *.SPE).
- VSTAGES(): Contém as equações de crescimento vegetativo, por meio das quais o número de folhas atingidas em cada estágio fenológico é definido.

- RSTAGES(): Contém as equações de crescimento reprodutivo. Nessa função, está contida a estrutura de decisão para determinar os estádios fenológicos.
- CURV(): Retorna um fator entre 0 e 1 baseado em quatro pontos críticos de definição de curva.
- FIND(): Encontra a seção apropriada em um arquivo a partir dos parâmetros passados para a função.
- IGNORE(): Lê as linhas dos arquivos ignorando comentários e linhas em branco.
- ERROR(): Emite mensagens de erro para a tela.

3.3.4.2 Análise do código original

A fenologia do CROPGRO-Soybean é um módulo do modelo que simula os seguintes estádios fenológicos: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juven.*), Primeira folha (*Unifoliolate*), Indução Floral (*Flower Ind*), Primeira flôr (*First Flwr*), Último nó do ramo principal (*End Msnode*), Primeira vagem (*First Pod*), Primeira semente (*First Seed*), Final do crescimento foliar (*End Leaf*), Final do crescimento da vagem (*End Pod*), Maturação fisiológica (*Phys. Mat*) e Colheita (*Harv. Mat*).

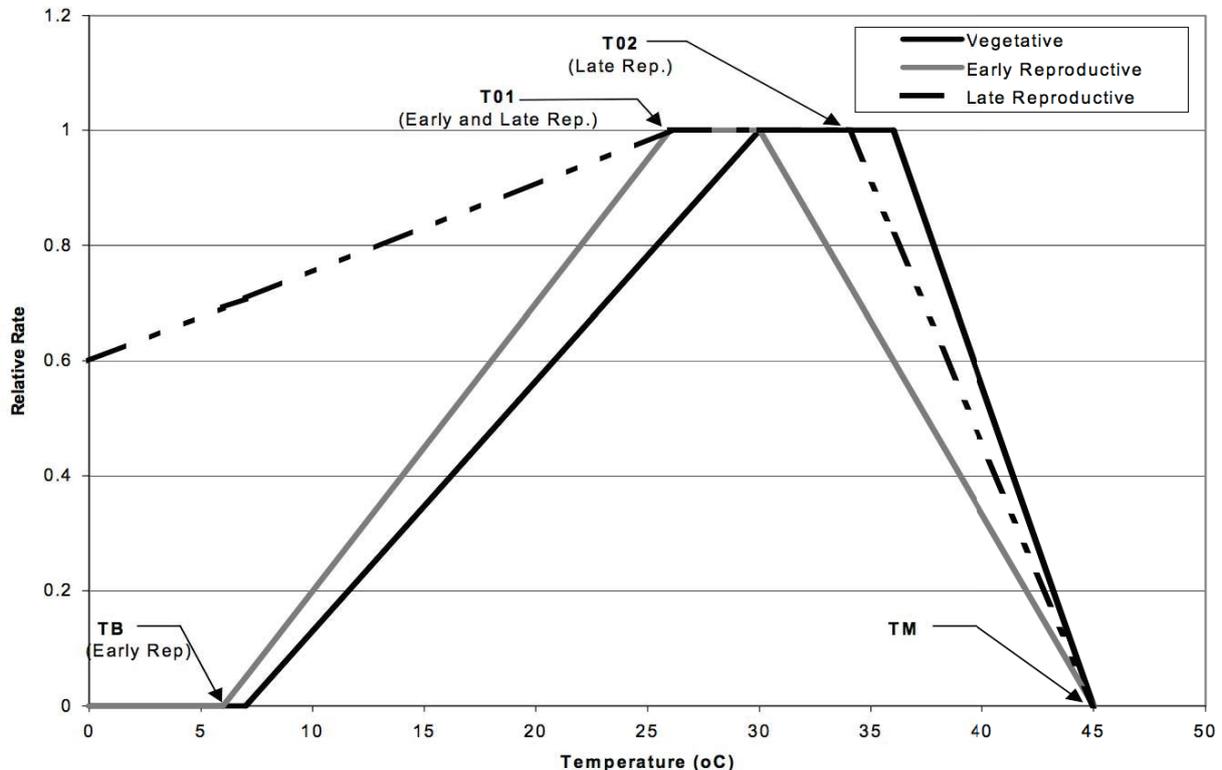


Figura 11. Efeito relativo da temperatura na taxa de desenvolvimento (*FT*) para os períodos de crescimento. *TB* é a temperatura base. *T01* e *T02* são temperaturas ótimas e *TM* é a temperatura máxima [42].

A simulação é executada em passos diários e, para cada dia da simulação são realizados cálculos para definir variáveis. Uma das variáveis a serem definidas é a taxa de desenvolvimento (FT), a qual é calculada com base no gráfico da Figura 11 [42].

Entre a data de plantio e a emergência, a média da temperatura nos 10 primeiros centímetros do solo é computada para definir a taxa de desenvolvimento (Figura 11). Após a emergência, a temperatura horária do ar é utilizada para definir a taxa de desenvolvimento. No final do cálculo das 24 horas, uma média é realizada com os valores do dia. Após o cálculo da taxa de desenvolvimento, é calculado o efeito do comprimento do dia no progresso do desenvolvimento ($FUDAY$), representado pelo gráfico da Figura 12 [42].

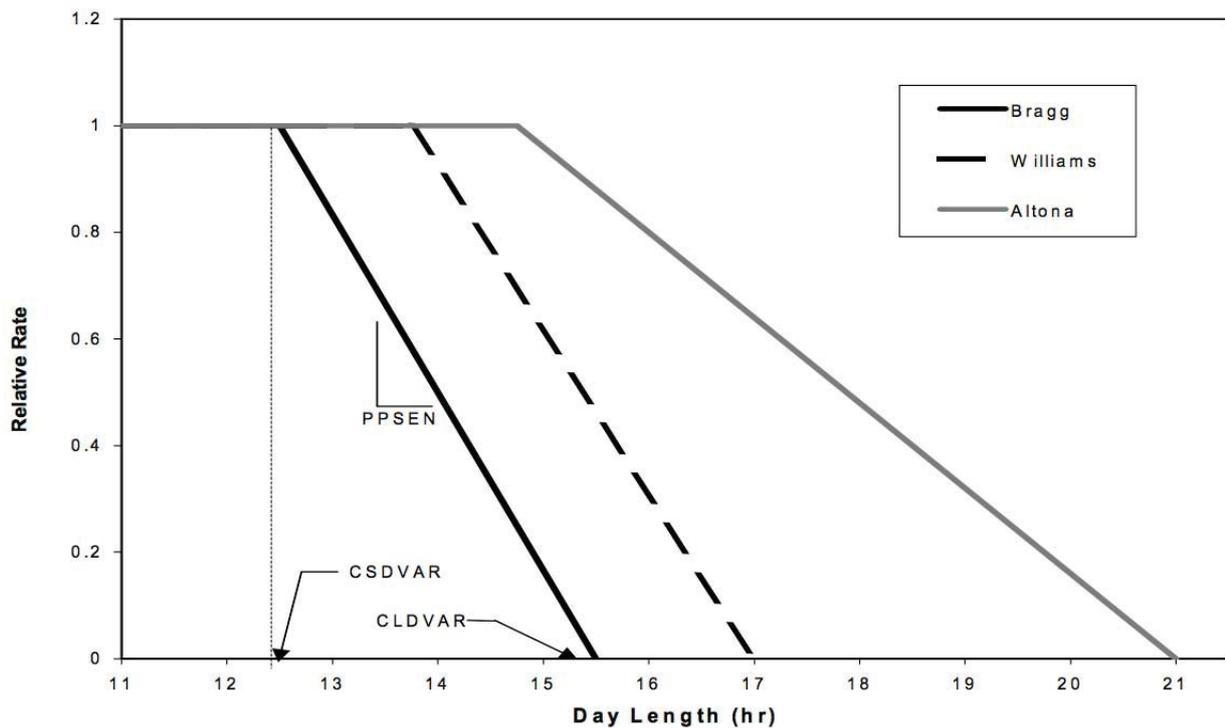


Figura 12. Sensibilidade relativa ao comprimento do dia de três cultivares de soja (Bragg, Williams e Altona). CSDVAR e CLDVAR são valores de comprimento do dia em que a taxa de desenvolvimento é insensível e mínima, respectivamente. PPSEN é o coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo. O eixo horizontal representa o comprimento do dia em horas (Day Length (hr)) e o eixo vertical representa a taxa relativa (Relative Rate) [42].

Após calcular a taxa de desenvolvimento e a taxa do efeito do comprimento do dia sobre o desenvolvimento da cultura, a Equação 1 calcula a quantidade de dias fototérmicos para o estágio fenológico j .

$$PROG_j = \sum_{j=1}^n FT_j * FUDAY_j \quad (1)$$

Para cada dia da simulação a variável $PROG$ é calculada. O acúmulo de dias fototérmicos é realizado pela Equação 2, onde PHZAAC é a variável acumuladora, e J é o estágio fenológico.

$$PHZACC_j = \sum_{j=1}^n PHZACC_j + PROG_j \quad (2)$$

Os limites que são utilizados para verificar se o acúmulo de dias fototérmicos (*PHZACC*) alcançou um novo estágio fenológico são apresentados na Tabela 4. Os coeficientes *PL-EM* (Tempo entre o plantio e a emergência), *V1-JU* (Tempo entre a primeira folha e final do período juvenil), *EM-V1* (Tempo entre a emergência a primeira folha), *JU-R0* (Tempo para a indução floral), *FL-VS* (Tempo da primeira flor até a última folha), *PM-09* (Proporção de tempo entre a primeira semente e a maturação fisiológica) e *R7-R8* (Tempo entre a maturação fisiológica e a colheita) são encontrados no arquivo de ecótipo (*.ECO). Os coeficientes *EM-FL* (Dias fototérmicos entre a emergência e a primeira flor), *FL-SH* (Dias fototérmicos entre a primeira flor e a primeira vagem), *FL-SD* (Dias fototérmicos entre a primeira flor e a primeira semente), *FL-LF* (Dias fototérmicos entre a primeira flor e o final da expansão da folha), *SD-PM* (Dias fototérmicos entre a primeira folha e a maturação fisiológica) são encontrados no arquivo de cultivar (*.CUL). *SDEPTH* representa a profundidade de plantio e *MAX* é uma função que retorna maior valor entre os parâmetros fornecidos. O valor contido dentro dos parênteses da variável *PHZACC* representa o índice do estágio fenológico.

Tabela 4. Condições para atingir os estádios fenológicos do CROPGRO-Soybean.

Estádio fenológico	Condição para atingir o estágio fenológico
Emergência	$PHZACC(1) - PL-EM + SDEPTH * 0.6 > -1e-6$
Final do período juvenil	$PHZACC(3) - V1-JU > -1e-6$
Primeira folha	$PHZACC(2) - EM-V1 > -1e-6$
Indução floral	$PHZACC(4) - JU-R0 > -1e-6$
Primeira flor	$PHZACC(5) - MAX(0, EM-FL - V1-JU - JU-R0) > -1e-6$
Última folha	$PHZACC(12) - FL-VS > -1e-6$
Primeira vagem	$PHZACC(7) - FL-SH > -1e-6$
Primeira semente	$PHZACC(8) - FL-SD > -1e-6$
Final do crescimento foliar	$PHZACC(13) - FL-LF > -1e-6$
Final do crescimento da vagem	$PHZACC(9) - MAX(0, SD-PM * PM-09) > -1e-6$
Maturação fisiológica	$PHZACC(10) - SD-PM > -1e-6$
Colheita	$PHZACC(11) - R7-R8 > -1e-6$

3.3.5 CERES-Maize

Para que uma simulação do CERES-Maize seja efetuada, o arquivo de tratamentos (*.MZX) precisa ser fornecido ao modelo. Nesse arquivo, estão os parâmetros: data de plantio (YYYYDDDD), profundidade do plantio (cm), cultivar escolhida, ID da estação meteorológica e ID do solo.

3.3.5.1 Estrutura

Para que a fenologia do CERES-Maize seja simulada, alguns arquivos são necessários. A Figura 13 apresenta os arquivos e as funções utilizadas, bem como a direção da chamada das funções. Os arquivos citados na seção 3.3.2 formam a entrada de dados do modelo e os arquivos citados da seção 3.3.3 formam a saída de dados do modelo.

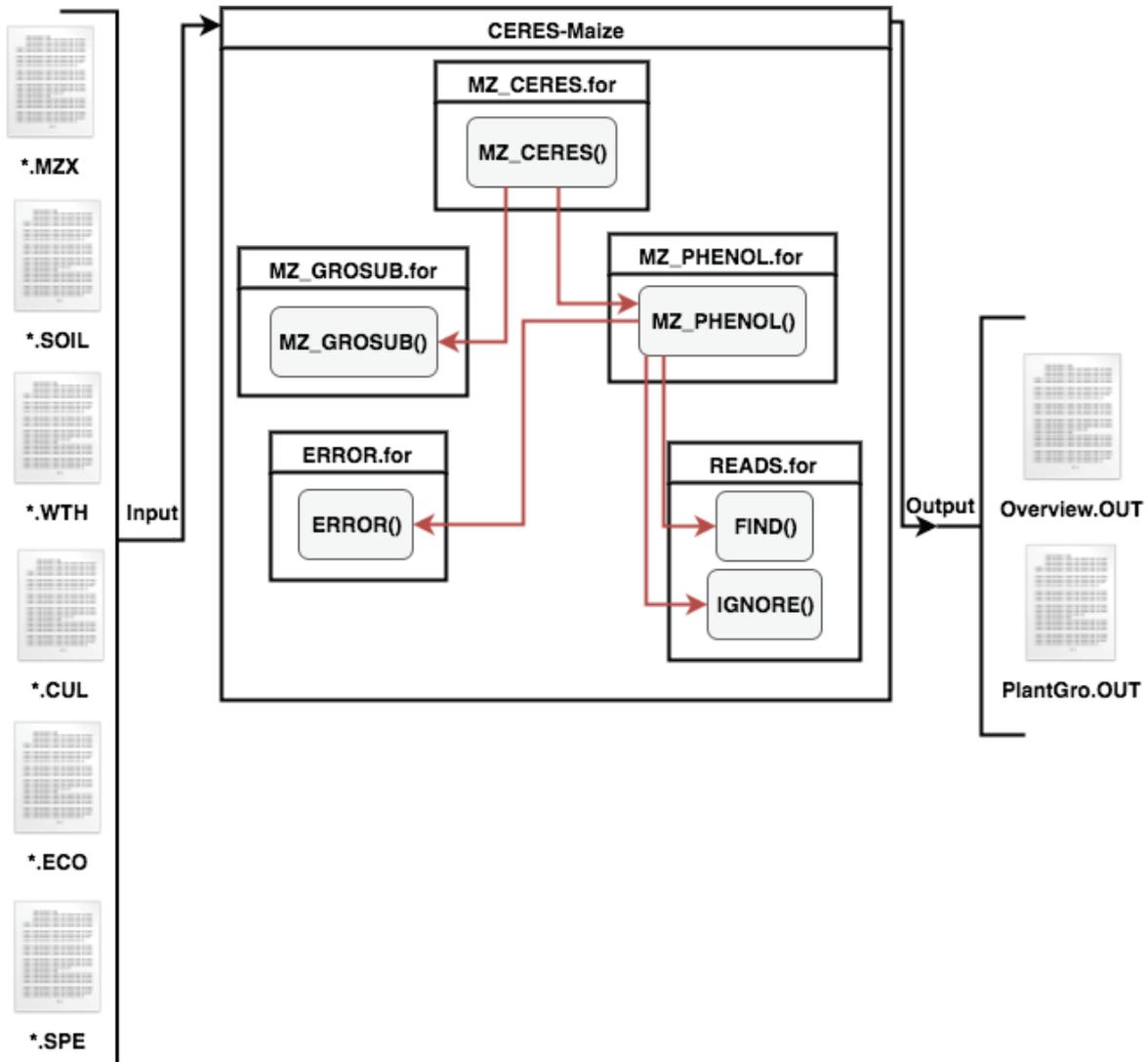


Figura 13. Arquivos de entrada (*input*), código-fonte e saída (*output*) utilizados na simulação da fenologia do CERES-Maize. As caixas contidas no diagrama representam os arquivos Fortran. Os retângulos com cantos arredondados dentro das caixas representam as funções contidas no código-fonte. As flechas em vermelho apresentam a chamada de uma função para outra, sendo que a ponta da flecha indica a função requisitada.

Na lista que segue, são apresentadas e descritas as funções utilizadas pela fenologia no CERES-Maize (Figura 13) [42].

- **MZ_CERES()**: Função de crescimento do milho que coordena a invocação das funções **MZ_PHENOL()** e **MZ_GROSUB()**.

- MZ_PHENOL(): Calcula os graus-dia e faz a progressão dos estádios fenológicos.
- MZ_GROSUB(): Calcula a quantidade de folhas produzidas ao longo da simulação.
- FIND(): Encontra a seção apropriada em um arquivo a partir dos parâmetros passados para a função.
- IGNORE(): Lê as linhas dos arquivos ignorando comentários e linhas em branco.
- ERROR(): Emite mensagens de erro para a tela.

3.3.5.2 Análise do código original

A fenologia do CERES-Maize é um sub-módulo do modelo que simula os seguintes estádios fenológicos: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juveni*), Indução floral (*Floral Ini*), 75% do espigamento concluído (*75% Silkin*), Início do enchimento de grãos (*Beg Gr Fil*), Final do enchimento de grãos (*End Gr Fil*) e Maturação (*Maturity*) [68].

A simulação é executada em passos diários e, para cada dia da simulação, são realizados cálculos a fim de definir variáveis. Uma das variáveis a serem definidas é a de graus-dias (*DTT - Daily thermal time*), que é definida pela Equação 3, onde T_i representa a temperatura média do dia (°C) e T_{base} é a temperatura basal, que pode ser encontrada no arquivo de espécie (*.SPE).

$$DTT_i = \sum_{i=1}^n T_i - T_{base} \quad (3)$$

O estágio fenológico de Indução Floral é controlado por fotoperíodo (*SIND*). Esse estágio dura quatro dias gregorianos para as cultivares não sensíveis ao fotoperíodo ou que crescem sob fotoperíodos menores que 12.5 horas (Figura 14).

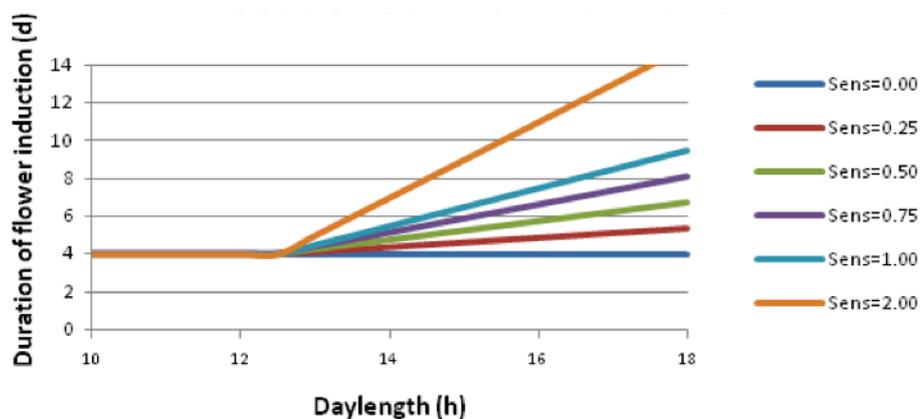


Figura 14. Indução floral afetada por fotoperíodo [68]. O eixo vertical representa a duração da indução floral (*Duration of flowering induction*) e o eixo horizontal representa o comprimento do dia (*Daylength*).

Entre a emergência e a décima folha, a temperatura do solo é considerada para definir os graus-dia e, após a décima folha, a temperatura do ar é utilizada. Quando a temperatura máxima ou mínima está fora dos limites estabelecidos pelo arquivo de ecótipo (*.ECO), a temperatura média do dia é calculada por meio da média da temperatura horária. No final do cálculo das 24 horas, uma média é realizada com os valores do dia.

A variável *Cumulative daily thermal time (CUMDTT)* percorre cada dia da simulação, acumulando os *DTT* até que o limite do estágio fenológico seja atingido. As condições que são utilizadas para definir os estádios fenológicos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Condições para atingir os estádios fenológicos do CERES-Maize.

Estádio fenológico	Condição para atingir estágio o fenológico
Emergência	CUMDTT \geq (45.0 + GDDE * SDEPTH)
Final do período juvenil	CUMDTT \geq P1
Indução floral	SIND \geq 1
75% do espigamento concluído	CUMDTT \geq P3
Início do enchimento de grãos	CUMDTT \geq DSGFT
Final do enchimento de grãos	CUMDTT \geq (P5 * 0.95)
Maturação	CUMDTT \geq P5

Na Tabela 5, os coeficientes Graus-dia por centímetro da profundidade do plantio (*GDDE*) e Graus-dia do espigamento até o final do enchimento de grãos (*DSGFT*) são encontrados no arquivo de ecótipo (*.ECO). Os coeficientes *P1* (Graus-dia entre a emergência e o final do período juvenil), *P5* (Graus-dia entre o espigamento e a maturação fisiológica) e *PHINT* (Graus-dia entre o aparecimento de duas folhas consecutivas) são encontrados no arquivo de cultivar (*.CUL). *SDEPTH* representa a profundidade de plantio, *SIND* é a taxa de indução do fotoperíodo somado até o dia testado e *P3* é definido pela Equação 4, onde *TLNO* é número de folhas desenvolvidas.

$$P3_i = \sum_{i=1}^n (TLNO + 0.5) * PHINT - CUMDTT_i \quad (4)$$

3.3.6 NWheat

Para que uma simulação do NWheat seja efetuada, o arquivo de tratamentos (*.WHX) precisa ser fornecido ao modelo. Nesse arquivo, estão os parâmetros: data de plantio (YYYYDDD), profundidade do plantio (cm), cultivar escolhida, ID da estação meteorológica e ID do solo.

3.3.6.1 Estrutura

Para que a fenologia do NWheat seja simulada, alguns arquivos são necessários. A Figura 15 apresenta os arquivos e as funções utilizadas, bem como a direção da chamada das funções. Os

arquivos citados na Seção 3.3.2 formam a entrada de dados do modelo e os arquivos citados da Seção 3.3.3 formam a saída dos dados do modelo.

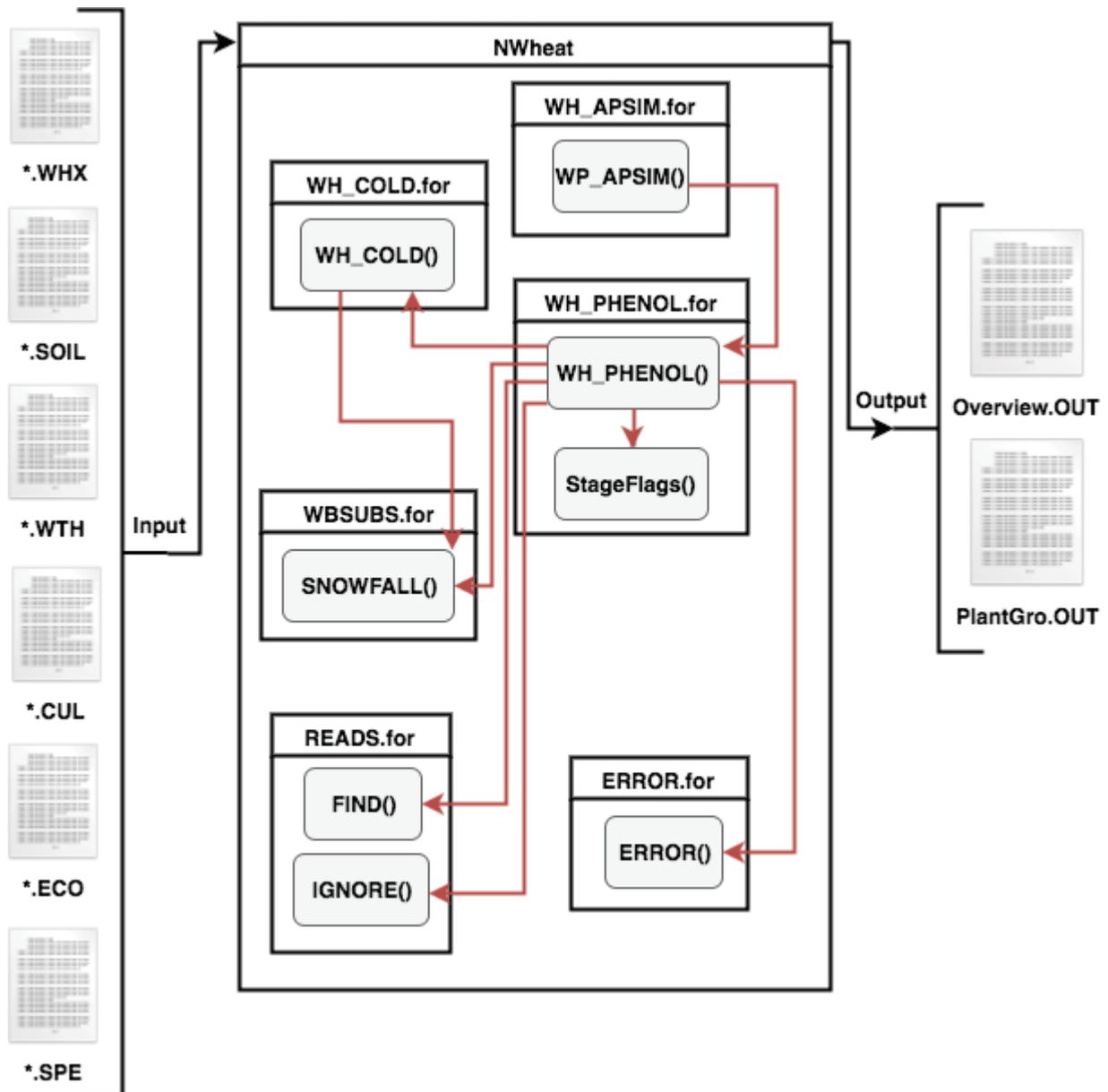


Figura 15. Arquivos de entrada (*input*), código-fonte e saída (*output*) utilizados na simulação da fenologia do NWheat. As caixas contidas no diagrama representam os arquivos Fortran. Os retângulos com cantos arredondados dentro das caixas representam as funções contidas no código-fonte. As flechas em vermelho apresentam a chamada de uma função para outra, sendo que a ponta da flecha indica a função requisitada.

Na lista que segue, são apresentadas as funções utilizadas pela fenologia no NWheat (Figura 15), bem como a descrição de cada função [69].

- WP_APSIM(): Rotina de crescimento do trigo que coordena a chamada de subrotinas e funções do processo de cultivo.

- WH_COLD(): Calcula o fator de vernalização, vernalização cumulativa e senescência da área foliar devido à geada.
- WH_PHENOL(): Determina o estágio fenológico e calcula os graus-dia.
- StageFlags(): Define vários sinalizadores de estágio usados ou produzidos pelo modelo.
- SNOWFALL(): Determina o derretimento da neve.
- FIND(): Encontra a seção apropriada em um arquivo a partir dos parâmetros passados para a função.
- IGNORE(): Lê as linhas dos arquivos ignorando comentários e linhas em branco.
- ERROR(): Emite mensagens de erro para a tela.

3.3.6.2 Análise do código original

A fenologia do NWheat é um sub-módulo do modelo que simula os seguintes estádios fenológicos: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juveni*), Final do período vegetativo (*End Veg*), Final do crescimento da espiga (*End Ear Gr*), Início do enchimento de grãos (*Beg Gr Fil*) e Maturação (*Maturity*) [48].

A simulação é executada em cálculo diário e, para cada dia da simulação, a variável de graus-dia (DTT - *Daily thermal time*) é calculada. A duração das fases entre Emergência e Indução Floral é ajustada por fotoperíodo e vernalização, usando coeficientes genéticos. Temperaturas da coroa da planta são simuladas de acordo com as funções originais do CERES-Wheat e correspondem à temperatura do ar para temperaturas não congelantes. A temperatura máxima da coroa é calculada com a Equação 5 e a temperatura mínima da coroa é calculada com a Equação 6, onde H_{snow} é a profundidade da neve (cm).

$$T_{cmax} = \begin{cases} 2 + T_{max}(0.4 + 0.0018(H_{snow} - 15)^2) & T_{max} < 0 \\ T_{max} & T_{max} \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Nas Equações 5 e 6, são realizados testes para cada dia da simulação. Na Equação 5, se a temperatura for menor do que 0, o cálculo $0.4 + 0.0018(H_{snow} - 15)^2$ é realizado, caso contrário, a temperatura máxima é utilizada. A Equação 6 apresenta a mesma lógica, porém, utilizando a temperatura mínima como teste.

$$T_{cmin} = \begin{cases} 2 + T_{min}(0.4 + 0.0018(H_{snow} - 15)^2) & T_{min} < 0 \\ T_{min} & T_{min} \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

A temperatura média da coroa é calculada com a Equação 7, onde T_{cmax} é a temperatura máxima da coroa (°C) e T_{cmin} é a temperatura mínima da coroa.

$$T_c = \frac{T_{cmax} + T_{cmin}}{2} \quad (7)$$

A variável DTT é calculada com base na temperatura média da coroa (T_c), usando três temperaturas cardinais: 0°C, 26°C, 34°C, para TBASE, TOPT e TTOP, respectivamente. Na Equação 8, se T_c estiver entre 0°C e 26°C, T_c é atribuído à DTT . Se T_c estiver entre 26°C e 34°C, o resultado do cálculo $\frac{28}{6}(34 - T_c)$ é atribuído à DTT . Se T_c for inferior a 0°C e superior a 34°C, a temperatura mínima (T_{min}) é atribuída à DTT . Nessa mesma equação, i representa o dia da simulação.

$$DTT_i = \left\{ \begin{array}{ll} T_c & 0 < T_c \leq 26 \\ \frac{28}{6}(34 - T_c) & 26 < T_c \leq 34 \\ T_{min} & T_c \leq 0 \text{ or } T_c > 34 \end{array} \right\} \quad (8)$$

Para cada estágio fenológico, a variável T_i é acumulada e pode ser reduzida por fotoperíodo (F_d) ou vernalização (F_v). Quando cada estágio fenológico é atingido, o acumulador é zerado ou penalizado e a variável TT_i começa a ser acumulada para o novo estágio de crescimento. A Equação 9 é apresentada a seguir:

$$TT_i = \sum_{i=1}^n DTT_i * \min(f_d, f_v) \quad (9)$$

A Tabela 6 apresenta as condições (acúmulo de graus-dia) para que cada estágio fenológico seja atingido.

Tabela 6. Condições para atingir os estádios fenológicos do NWheat.

Estádio fenológico	Condição para atingir estágio o fenológico
Emergência	$TT_i \geq (40.0 + GDDE * SDEPTH)$
Final do período juvenil	$TT_i \geq P1$
Final do período vegetativo	$TT_i \geq PHINT * 3.0$
Final do crescimento da espiga	$TT_i \geq PHINT * 2.0$
Início do enchimento de grãos	$TT_i \geq DSGFT$
Maturação	$TT_i \geq P5$

Na Tabela 6, os coeficientes Graus-dia por centímetro da profundidade do plantio ($GDDE$) e Graus-dia do espigamento até o final do enchimento de grãos ($DSGFT$) são encontrados no arquivo de ecótipo (*.ECO). Os coeficientes $P1$ (Graus-dia entre a emergência e o final do período juvenil), $P5$ (Graus-dia entre o espigamento e a maturação fisiológica) e $PHINT$ (Graus-dia entre e o aparecimento de duas folhas consecutivas) são encontrados no arquivo de cultivar (*.CUL), e a variável $SDEPTH$ representa a profundidade de plantio.

3.3.7 Parametrização das simulações

Nesta seção são apresentados os parâmetros utilizados nas simulações do modelo extraído e do modelo original, a fim de verificar se as datas dos estádios fenológicos do modelo extraído são iguais, comparadas com o modelo original. Os parâmetros definidos nesta seção foram utilizados com base em experimentos já definidos pela plataforma DSSAT [41].

Para a simulação da cultura da soja, foram utilizados coeficientes genéticos contidos nos arquivos SBGRO046.CUL, SBGRO046.ECO e SBGRO046.SPE (Apêndice A), e dados climáticos contidos no arquivo UFGA7801.WTH. A data de plantio foi definida como dia 15 de junho de 1978 (1978-06-15), a profundidade do plantio como 4 centímetros, e a latitude do campo como 29.63. A cultivar utilizada foi BRAGG latest. Na simulação do modelo original, balanço hídrico e balanço de nitrogênio não foram computados.

Para a simulação da cultura do milho, foram utilizados coeficientes genéticos contidos nos arquivos MZCER046.CUL, MZCER046.ECO e MZCER046.SPE (Apêndice B), e dados climáticos contidos no arquivo BRPI0201.WTH. A data de plantio foi definida como dia 13 de março de 2002 (2002-03-13), a profundidade do plantio como 4 centímetros, e a latitude do campo como -22.430. A cultivar utilizada foi AG9010.

Para a simulação da cultura do trigo, foram utilizados coeficientes genéticos contidos nos arquivos WHAPS046.CUL, WHAPS046.ECO e WHAPS046.SPE (Apêndice C), e dados climáticos contidos nos arquivos BOUW8201.WTH e BOUW8301.WTH. A data de plantio foi definida como dia 21 de outubro de 1982 (1982-10-21), a profundidade do plantio como 3 centímetros e a latitude do campo como 51.6. A cultivar utilizada foi ARMINDA.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após extrair, simplificar e reescrever a fenologia dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat, simulações foram realizadas para validar os novos modelos. A seguir, são apresentados os resultados das simulações.

3.4.1 Fenologia extraída do CROPGRO-Soybean

Após realizar as simulações para a cultura da soja com os parâmetros definidos na seção 3.3.7, foram plotados gráficos com o acúmulo de dias fototérmicos para cada estágio fenológico ao longo da safra. Os gráficos exibidos nas Figuras 16 e 17 apresentam as simulações realizadas com o modelo CROPGRO-Soybean e com o novo modelo de fenologia para os diferentes estádios fenológicos.

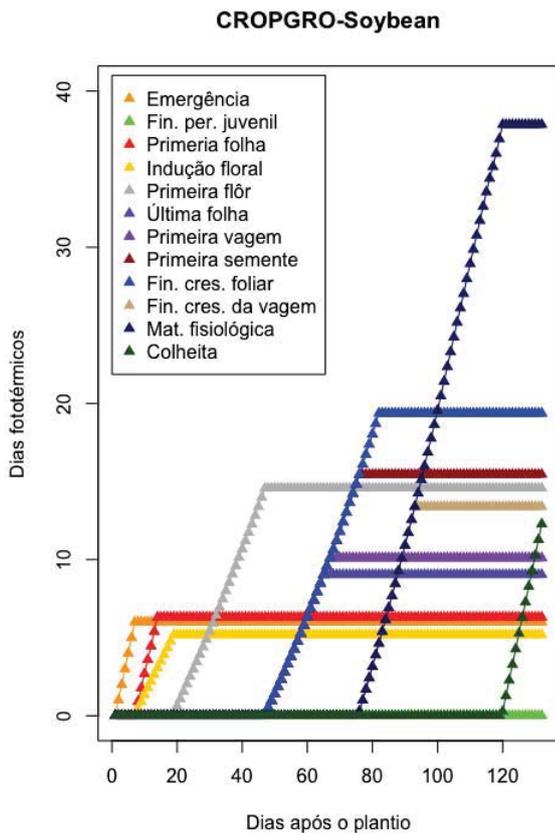


Figura 16. Resultado do acúmulo de dias fototérmicos após o plantio com o modelo original.

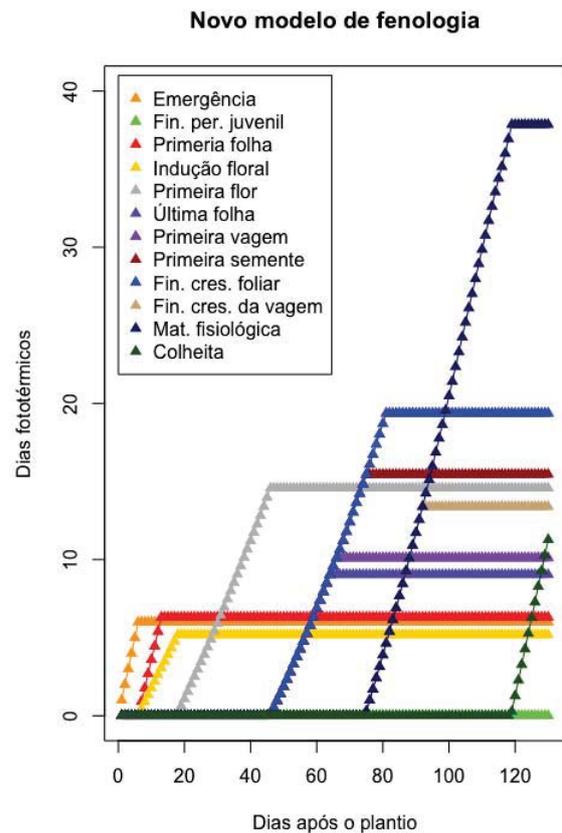


Figura 17. Resultado do acúmulo de dias fototérmicos após o plantio com o novo modelo.

Em ambas as simulações, a variável de acúmulo de dias fototérmicos apresenta os mesmos valores. Após essa verificação, foram analisadas as datas de ocorrência de cada estágio fenológico, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Data da ocorrência dos estádios fenológicos com CROPGRO-Soybean e novo modelo de fenologia apresentadas no formato de ano-mês-dia.

Estádio fenológico	CROPGRO-Soybean	Novo modelo de fenologia
Emergência	1978-06-20	1978-06-20
Final do período juvenil	1978-06-20	1978-06-20
Primeira folha	1978-06-27	1978-06-27
Indução floral	1978-07-02	1978-07-02
Primeira flor	1978-07-30	1978-07-30
Última folha	1978-08-17	1978-08-17
Primeira vagem	1978-08-19	1978-08-19
Primeira semente	1978-08-28	1978-08-28
Final do crescimento foliar	1978-09-03	1978-09-03
Final do crescimento da vagem	1978-09-14	1978-09-14
Maturação fisiológica	1978-10-08	1978-10-08
Colheita	1978-10-20	1978-10-20

3.4.2 Fenologia extraída do CERES-Maize

Após realizar as simulações para a cultura do milho com os parâmetros definidos na seção 3.3.7, foram plotados gráficos com o acúmulo de graus-dia (GDD), e destacados os GDD referentes à definição de cada estágio fenológico. Os gráficos exibidos nas Figuras 18 e 19 apresentam as simulações realizadas com o modelo CERES-Maize e com o novo modelo de fenologia.

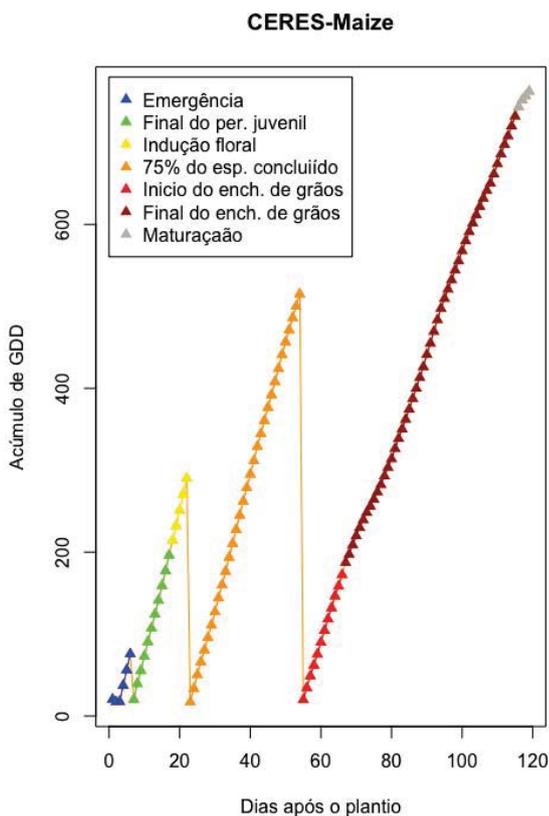


Figura 18. Resultado do acúmulo de dias fototérmicos após o plantio com o modelo original.

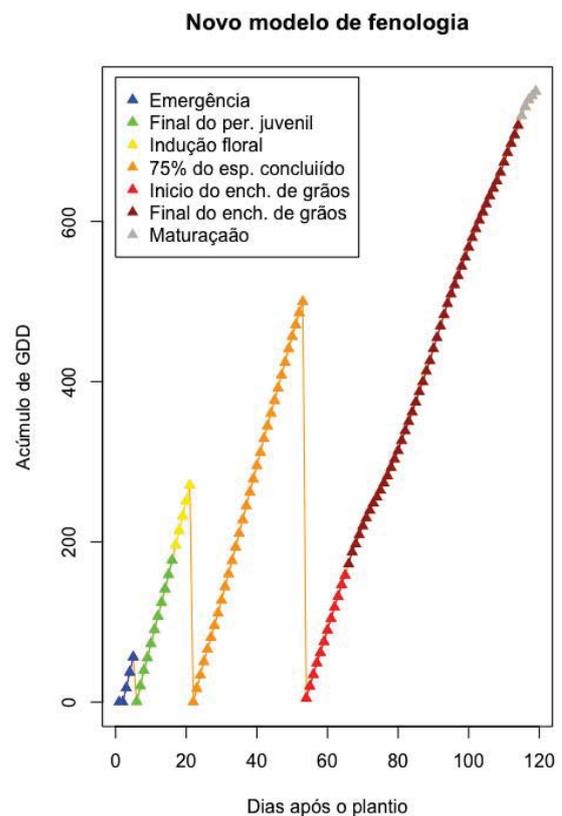


Figura 19. Resultado do acúmulo de dias fototérmicos após o plantio com o novo modelo.

Em ambas as simulações, a variável de acúmulo de graus-dia (GDD) apresenta os mesmos resultados. Após essa verificação, foram analisadas as datas de ocorrência de cada estágio fenológico, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Data da ocorrência dos estádios fenológicos com CERES-Maize e novo modelo de fenologia.

Estádio fenológico	CERES-Maize	Novo modelo de fenologia
Emergência	2002-03-18	2002-03-18
Final do período juvenil	2002-03-29	2002-03-29
Indução floral	2002-04-03	2002-04-03
75% do espigamento concluído	2002-05-05	2002-05-05
Início do enchimento de grãos	2002-05-17	2002-05-17
Final do enchimento de grãos	2002-07-05	2002-07-05
Maturação	2002-07-09	2002-07-09

3.4.3 Fenologia extraída do NWheat

Após realizar as simulações para a cultura da trigo com os parâmetros definidos na seção 3.3.7, foram plotados gráficos com o acúmulo de graus-dia (GDD), e destacados os GDD referentes à definição de cada estágio fenológico. Os gráficos exibidos nas Figuras 20 e 21 apresentam as simulações realizadas com o modelo NWheat e com o novo modelo de fenologia.

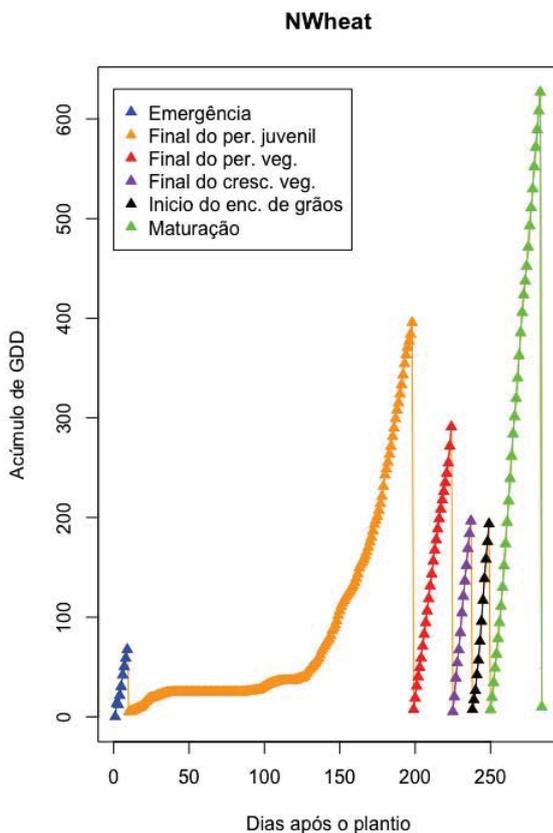


Figura 20. Resultado do acúmulo de dias foto-térmicos após o plantio com o modelo original.

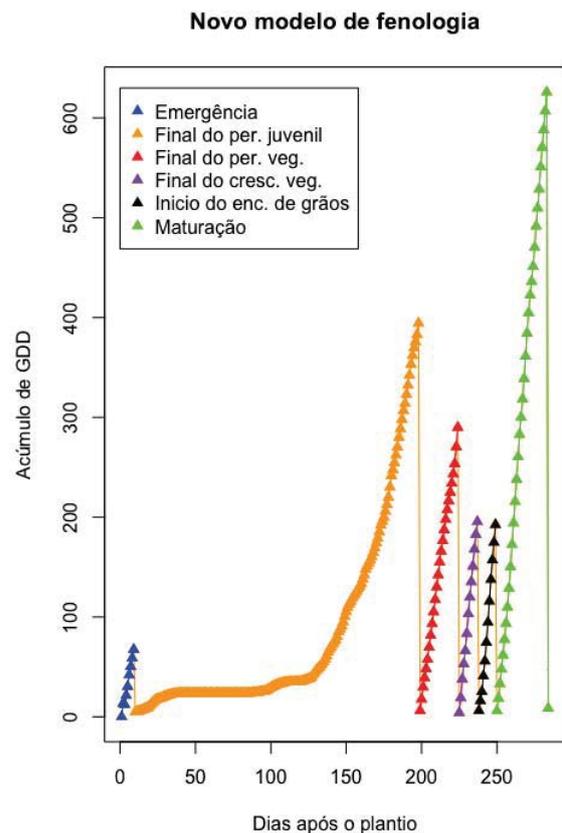


Figura 21. Resultado do acúmulo de dias foto-térmicos após o plantio com o novo modelo.

Em ambas as simulações, a variável de acúmulo de graus-dia (GDD) apresenta os mesmos resultados. Após essa verificação, foram analisadas as datas de ocorrência de cada estágio fenológico, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Data da ocorrência dos estádios fenológicos com NWheat e novo modelo de fenologia.

Estádio fenológico	NWheat	Novo modelo de fenologia
Emergência	1982-10-30	1982-10-30
Final do período juvenil	1983-05-07	1983-05-07
Final do período vegetativo	1983-06-02	1983-06-02
Final do crescimento da espiga	1983-06-15	1983-06-15
Início do enchimento de grãos	1983-06-27	1983-06-27
Maturação	1983-08-01	1983-08-01

3.5 CONCLUSÃO

Haja vista a importância da utilização de modelos simplificados, foram reescritos os módulos fenológicos dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat. O desenvolvimento desses modelos possibilita a execução das simulações com poucos parâmetros de entrada.

Durante o decorrer deste trabalho, buscou-se simplificar a fenologia dos modelos de simulação de culturas da plataforma DSSAT. Tal objetivo foi alcançado por meio da reescrita dos módulos fenológicos. Dessa forma, conclui-se que o objetivo principal deste trabalho foi alcançado, pois os modelos extraídos apresentam os mesmos resultados do que os modelos originais.

4. AGROCLIMATE SMART CROP SEASON: UMA FERRAMENTA WEB NO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO

4.1 RESUMO

O clima possui grande influência no desenvolvimento de culturas como soja, milho e trigo e eventos climáticos extremos, como baixas temperaturas, veranicos e altas temperaturas, podem influenciar o desenvolvimento dessas culturas e impactar na sua produtividade. A probabilidade da ocorrência de um evento climático extremo durante um estágio crítico de crescimento é uma importante informação para ajudar agricultores no planejamento da safra. A escolha de uma boa data de plantio pode evitar que eventos climáticos extremos ocorram em estágios críticos de desenvolvimento das culturas e pode auxiliar na logística da colheita. O uso de modelos de simulação associados com eventos climáticos extremos ajuda na tomada de decisão e permite a identificação das melhores práticas de manejo. A ferramenta desenvolvida neste trabalho apresenta uma estimativa de ocorrência dos estágios fenológicos ao longo da safra juntamente com a probabilidade de eventos climáticos extremos. Neste projeto, a fenologia das culturas é simulada baseada nos modelos de simulação de culturas da plataforma DSSAT, como CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat. As análises de eventos climáticos extremos são desenvolvidas usando a abordagem já testada e amplamente usada pelo INSTAT. Esses algoritmos calculam a probabilidade baseada em dados históricos de estações meteorológicas do estado de Nebraska, nos Estados Unidos (EUA). Disponibilizando diversos cenários com uma interface responsiva e portátil, a ferramenta pode ser acessada por meio de navegadores web. A informação produzida ajuda agricultores no melhor planejamento da safra simulando o desenvolvimento da cultura e a probabilidade de eventos climáticos extremos.

4.2 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão é uma questão importante no gerenciamento agrícola e tem sido foco de diversos estudos [70]. O sucesso de uma safra depende de boas escolhas e uma boa produtividade começa com um bom planejamento da safra. A informação é um dos principais materiais para a tomada de decisão na agricultura e é por meio dela que se obtém subsídios para diminuir riscos e incertezas.

Sistemas de auxílio à tomada de decisão (DSS - *Decision Support Systems*) foram desenvolvidos no contexto industrial e comercial para entender as implicações de como trabalhar com problemas desestruturados. DSS são geralmente definidos como sistemas baseados em computador e são desenvolvidos por tecnologias como bancos de dados, linguagens de consulta e interfaces Web [71]. Muitos DSS têm sido desenvolvidos nos últimos anos para aumentar o acesso à informação por agricultores e disseminar conhecimento produzido em laboratórios de pesquisa [72, 73, 4].

Na agricultura, um dos principais desafios é a escolha da melhor data de plantio para algumas culturas. O calendário Gregoriano é geralmente usado para prever o desenvolvimento das culturas, baseando-se em dias fixos, para guiar agricultores na aplicação de fertilizantes e outros produtos. Entretanto, os dias de um calendário podem ser imprecisos para alguns estágios de crescimento, eis que cada variedade apresenta diferentes respostas às condições climáticas [7].

A data de plantio interfere diretamente nos estágios fenológicos de uma cultura. Alguns estágios são críticos para alcançar uma boa produtividade, como a floração e o enchimento de grãos. A ocorrência de eventos climáticos extremos, como geadas, altas temperaturas e déficit hídricos durante esses períodos pode comprometer a produção.

Estudos recentes têm avaliado o impacto de mudanças nos padrões de distribuição da temperatura do ar e precipitação no desenvolvimento na produção do trigo [74, 75]. Miroslav et al. apresentaram que, até 2030, deve-se esperar um duplo aumento na área global de crescimento do trigo ameaçada por temperaturas extremamente altas durante os estágios críticos de desenvolvimento em um ano típico, e um aumento mais do que triplo da área em risco em 2050 [74].

Nesse sentido, o principal objetivo deste trabalho é ajudar produtores de soja, milho e trigo a diminuir o risco de produção associado com eventos climáticos extremos, com o desenvolvimento de um sistema de auxílio à tomada de decisão que permite ao usuário simular estágios fenológicos e avaliar a probabilidade de eventos climáticos extremos durante estágios críticos de crescimento das culturas.

4.2.1 Produção de soja, milho e trigo nos EUA

Os EUA são líderes mundiais em produção de muitas culturas agrícolas. De acordo com USDA (<https://www.ers.usda.gov/topics/crops>), departamento norte-americano de agricultura, a maior cultura em termos de produção é o milho, seguido por soja e trigo na segunda e terceira colocação, respectivamente.

A área plantada de soja em 2016 é estimada em 33,87 milhões de hectares, 1% maior do que em 2015. A área total colhida foi de 33,58 milhões de hectares, 1% maior do 2015 e é esperado um recorde de produção em 2016. A área plantada de milho em 2016 é estimada em 38,08 milhões de hectares, 7% maior do que 2015, e a terceira maior área plantada desde 1944. Produtores esperam colher 35,04 milhões de hectares, 7% a mais do que em 2015, e, provavelmente, essa será a terceira maior área colhida desde 1933. A área plantada de trigo em 2016 é estimada em 14,77 milhões de hectares, 7% menor que a safra anterior [76].

4.2.2 Modelos de simulação de culturas

Modelos de simulação de culturas têm sido desenvolvidos ao redor do mundo, mas uma plataforma que se destaca nesse cenário é o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DS-SAT), o qual foi originalmente desenvolvido por uma rede internacional de pesquisadores para facilitar

o uso de modelos de simulação de culturas na pesquisa agrônômica e hoje é umas das plataformas de simulação de culturas agrícolas mais populares no mundo. DSSAT é uma plataforma composta por 42 modelos de simulação de culturas, como NWheat para a simulação do trigo, CERES-Maize para a simulação do milho, e CROPGRO-Soybean para a simulação de soja e outros legumes [41].

4.2.2.1 Módulo de fenologia do CROPGRO-Soybean

CROPGRO é um modelo de simulação genérico que pode simular o crescimento e o desenvolvimento de legumes e a nomenclatura CROPGRO-Soybean é utilizada para enfatizar a abordagem na cultura da soja. A abordagem usada no CROPGRO-Soybean para simular a fenologia assume que cada estágio é atingido um determinado número de dias fototérmicos. A simulação ocorre em passos diários e o módulo utiliza as variáveis de temperatura máxima, mínima e radiação solar. Outros dados de entrada para esse módulo são data de plantio, profundidade de plantio e latitude do campo [42].

O modelo CROPGRO-Soybean simula os seguintes estádios de desenvolvimento: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juven.*), Primeira folha (*Unifoliate*), Indução Floral (*Flower Ind*), Primeira flor (*First Flwr*), Último nó da aste principal (*End Msnode*), Primeira vagem (*First Pod*), Primeira semente (*First Seed*), Final do crescimento foliar (*End Leaf*), Final do crescimento da vagem (*End Pod*), Maturação fisiológica (*Phys. Mat*) e Colheita (*Harv. Mat*). O estágio de Emergência é dirigido por temperatura do solo e os outros estádios de crescimento são afetados por dias fototérmicos.

4.2.2.2 Módulo de fenologia do CERES-Maize

CERES é um modelo de simulação genérico que pode simular o desenvolvimento e o crescimento de cereais e CERES-Maize é uma nomenclatura para enfatizar a simulação do crescimento e do desenvolvimento do milho [63]. A fenologia do CERES-Maize é controlada pelo acúmulo de tempo termal e fotoperíodo. O tempo termal de cada estágio fenológico é controlado por coeficientes genéticos que são calibrados no modelo os quais permitem a correta simulação do desenvolvimento. Os dados necessários para executar o modelo são temperatura mínima e máxima, e temperatura do solo, ambos em formato diário. Outros parâmetros de entrada são data de plantio, profundidade de plantio e latitude do campo [42].

O CERES-Maize simula os seguintes estádios de desenvolvimento: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juveni*), Indução floral (*Floral Ini*), 75% do espigamento concluído (*75% Silkin*), Início do enchimento de grãos (*Beg Gr Fil*), Final do enchimento de grãos (*End Gr Fil*) e Maturação (*Maturity*). O estágio de Indução Floral é dirigido por fotoperíodo e os outros são controlados por acúmulo de tempo termal. Graus-dia são calculados com temperatura basal de 8°C, e a média da temperatura é calculada pela média entre temperatura máxima e mínima. O modelo usa a temperatura do solo até a décima folha para calcular os graus-dia, e a partir de então, usa a temperatura do ar.

4.2.2.3 Módulo de fenologia do NWheat

NWheat é um modelo de simulação desenvolvido com base no CERES-Wheat que simula o desenvolvimento e o crescimento da cultura do trigo [65]. O módulo de fenologia é dirigido por dados meteorológicos, coeficientes genéticos, fatores de vernalização, fotoperíodo e acúmulo de graus-dia. Outros parâmetros para o modelo são data de plantio, profundidade do plantio e latitude do campo [48].

A fenologia do NWheat simula os seguintes estádios de desenvolvimento: Emergência (*Emergence*), Final do período juvenil (*End Juveni*), Final do período vegetativo (*End Veg*), Final do crescimento da espiga (*End Ear Gr*), Início do enchimento de grãos (*Beg Gr Fil*) e Maturação (*Maturity*) [48].

4.2.3 Eventos climáticos extremos

Agricultura é uma das atividades realizadas pelo ser humano mais dependentes de condições climáticas, afetando diretamente o desenvolvimento das culturas. Fatores como temperatura, precipitação e radiação solar impõem importantes efeitos durante os estádios fenológicos das plantas. De acordo com Sentelhas [26], condições climáticas que ocorrem durante o crescimento das culturas podem resultar em uma variabilidade na produção de até 80%.

Eventos climáticos extremos que ocorrem em regiões agrícolas podem causar grandes danos nas culturas. Condições climáticas adversas podem provocar déficit hídrico impactando no desenvolvimento da cultura e na produtividade. Déficit hídrico é caracterizado pela redução no potencial de água da planta, causando a redução do crescimento e conseqüentemente impactando na produção [35]. O mais recente evento climático extremo nos EUA foi a seca de 1988, que diminuiu a produção agrícola em aproximadamente 37% [77].

Shah e Paulsen apresentaram um trabalho sobre o efeito de secas e altas temperaturas no trigo no qual concluíram que as altas temperaturas afetam a fotossíntese e podem diminuir a duração do enchimento de grãos. As altas temperaturas restringem a fotossíntese e a viabilidade das folhas, diminuindo a produtividade dos grãos mesmo em anos com precipitação adequada [78].

A geada é um estresse ambiental que provoca danos econômicos às culturas [79]. Para a cultura do milho, a ocorrência de geada pode causar uma diminuição nos rendimentos, atribuída pela menor disponibilidade de radiação solar e temperaturas mais baixas. A ocorrência de baixas temperaturas e geada na semeadura do milho pode danificar a planta e, em alguns casos, provocar uma safra incompleta [80].

4.2.4 AgroClimate

AgroClimate é um sistema de informação web e um sistema de auxílio à tomada de decisão desenvolvido para prover informações e ferramentas para ajudar agricultores, extensionistas, e consultores agrícolas na redução de risco da produção associado à variabilidade climática. O projeto

AgroClimate foi inicialmente implementado pelo *Southeast Climate Consortium* (<http://seclimate.org>) e *Florida Cooperative State Extension Services* com o objetivo de ajudar produtores agrícolas de culturas que não são cobertas por seguro agrícola [81].

O sistema web AgroClimate possui uma variedade de ferramentas baseadas na web que fornecem informação, previsão e alertas. Uma das ferramentas de maior sucesso é a *Strawberry Advisory System*, que simula o desenvolvimento das doenças *Botrytis* e *Anthracnose* do morango. O sistema notifica extensionistas e produtores sobre a situação das doenças por meio de mensagens de texto (SMS) e e-mails [4].

AgroClimate vem sendo alocado em um servidor com o sistema operacional Linux. As ferramentas web foram desenvolvidas por muitos pesquisadores com tecnologias como os bancos de dados MySQL (<https://www.mysql.com>), MongoDB (<https://www.mongodb.com>) e PostgreSQL (<https://www.postgresql.org>), as linguagens de programação PHP (<https://www.php.net>) e JavaScript, HTML (Hypertext Markup Language) e CSS (Cascading Style Sheets) .

4.3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

4.3.1 Dados meteorológicos

A aquisição e o armazenamento de dados constituíram uma das etapas do desenvolvimento deste trabalho. A estrutura do sistema foi baseada na plataforma desenvolvida por Cerbaro, que construiu algoritmos que, com base em regras pré-definidas, são capazes de coletar, filtrar e armazenar dados providos por estações meteorológicas. O banco de dados foi implementado com a plataforma MongoDB. Serviços web são usados para prover a desenvolvedores uma interface de acesso aos dados. Por meio desses serviços, grandes quantias de dados podem ser requisitadas e recebidas em poucos segundos [82].

A Rede Automática de Dados Meteorológicos (AWDN - *Automated Weather Data Network*) é uma das redes de estações meteorológicas que possuem dados armazenados no sistema de Cerbaro, que disponibiliza variáveis meteorológicas como temperatura máxima e mínima, e precipitação. AWDN, localizada no estado de Nebraska nos EUA, possui mais de 60 estações meteorológicas que disponibilizam dados meteorológicos em frequência horária. Algumas estações meteorológicas dessa rede disponibilizam dados desde o ano de 1983 [83].

4.3.2 Modelagem da fenologia das culturas

Módulos fenológicos de modelos de simulação de soja, milho e trigo foram extraídos dos modelos CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat e foram reescritos utilizando a linguagem de programação R. A entrada dos modelos de fenologia são data de plantio, dados meteorológicos, coeficientes de cultivares, latitude de campo e profundidade de semeadura. Os estádios fenológicos

simulados nesses modelos extraídos são os mesmos simulados pelos modelos originais. Os modelos de simulação de fenologia e suas características podem ser revistos no Capítulo 3 deste trabalho.

4.3.3 Modelagem dos eventos climáticos extremos

De acordo com Rosenzweig et al. [77], eventos climáticos extremos incluem períodos de veranicos e altas temperaturas que afetam a produtividade das culturas. Para analisar dados e prover probabilidades de eventos climáticos extremos, o software INSTAT foi usado como referência [84]. Alguns estudos que investigaram a ocorrência e apresentaram comportamentos de eventos climáticos extremos utilizaram o INSTAT para analisar os dados climáticos [85, 86].

Três probabilidades de eventos climáticos extremos foram calculadas: altas temperaturas, baixas temperaturas e veranicos. A probabilidade de altas temperaturas usa dados históricos das estações meteorológicas AWDN. Os *thresholds* foram definidos em 86°F (30°C), 90°F (32°C) e 95°F (35°C) [87, 88]. A probabilidade diária foi estimada baseada na Equação 10, onde pHT_j é a probabilidade para o dia j , $maxT_{i,j}$ é a temperatura máxima diária para o dia j e ano i , X é o *threshold* da temperatura e n o número total de anos, e $I(.)$ é uma função que define 1 quando a condição é satisfeita e 0 quando a condição não for satisfeita.

$$pHT_j = \frac{\sum_{i=1}^n I(maxT_{i,j} \geq X)}{n} \quad (10)$$

A probabilidade de baixas temperaturas usa dados históricos das estações meteorológicas. Os *thresholds* foram definidos com as temperaturas 28°F (-2°C), 32°F (0°C) e 35°F (2°C) [89, 90]. A probabilidade diária foi estimada baseada na Equação 11, onde pLT_j é a probabilidade de baixa temperatura, $minT_{i,j}$ é a temperatura mínima para o dia j e o ano i , X é *threshold* da temperatura e n o número total de anos.

$$pLT_j = \frac{\sum_{i=1}^n I(minT_{i,j} \leq X)}{n} \quad (11)$$

A probabilidade de veranico usou dados históricos das estações meteorológicas. Para esse modelo, um dia é definido como 'seco' quando a quantidade precipitação for menor que 0.85 mm, e um veranico é caracterizado quando dias 'secos' occorem por um número consecutivo de dias. Os *thresholds* foram definidos com os períodos de 7, 10 e 15 dias [85]. A probabilidade de veranico foi estimada com base na Equação 12, onde pDP_j é a probabilidade de veranico, $totR_{i,k}$ é o acumulado de precipitação no dia k do ano j e n é número de anos.

$$pDP_j = \frac{\sum_{i=1}^n I(\sum_{k=j}^{j+6} I(totR_{i,k} < 0.85) = 7)}{n} \quad (12)$$

Após calcular a probabilidade de cada evento climático extremo, foram aplicados cálculos para suavizar as probabilidades em cada um dos eventos. Esse processo foi baseado nas abordagens realizadas pelo INSTAT [84].

4.3.4 Tecnologias utilizadas

Padrões de projeto são utilizados na engenharia de software para o desenvolvimento do sistema consistentes, baseados na existência de padrões que podem ser facilmente reconhecidos e reusados, que auxiliam na manutenção do sistema. O uso desses padrões possibilita controle em testes e no desenvolvimento de aplicações [55].

O padrão de projeto Modelo–Visão–Controlador (MVC - Model-View-Controller) foi aplicado no desenvolvimento deste projeto. Esse padrão de projeto promove o reuso e o acoplamento de novos módulos e modelos, usando a programação em camadas. MVC é dividido em três camadas: Modelo, Visão e Controlador. A camada do Modelo representa o comportamento do componente, respectivo à regra do negócio. A camada de visão exibe os dados gerados no modelo, gerenciando o que pode ser visto. O Controller representa o recebimento de dados da Visão, e, seguindo regras pré-definidas, define o que pode ser feito com os dados. Basicamente, o Controller gerencia a interação entre usuário/sistema com o o Modelo [55].

Os modelos de fenologia foram extraídos do código-fonte DSSAT e redeseñovidos usando R (<http://www.r-project.org>). Os modelos de fenologia reescritos com base na plataforma DSSAT contínua com as regras definidas pelo código original. R é uma linguagem de análise estatística que pode ser utilizada em diferentes plataformas para computação estatística e geração de gráficos [54]. Nos modelos de fenologia reescritos, foram realizadas otimizações, como a consulta de dados meteorológicos, coeficientes genéticos e parâmetros da safra por meio de serviços web. Os modelos foram modularizados para que fossem criados pacotes, que podem ser instalados na linguagem R.

Os algoritmos de eventos climáticos extremos para estimar a ocorrência de probabilidades foram determinados com base no software INSTAT e implementados usando a linguagem de programação R. O software INSTAT fornece interface estatística e tem muitos recursos focando no clima [84]. Os algoritmos usados para simular as probabilidades de baixas temperaturas, altas temperaturas e veranicos foram implementados com base no INSTAT.

O banco de dados foi implementado usando banco de dados MongoDB. Os serviços web, que fornecem acesso ao banco de dados, foram desenvolvidos usando NojeJS (<https://nodejs.org>) e ExpressJS (<http://expressjs.com>). Os modelos de fenologia são pacotes R que são instalados no servidor. Com os pacotes instalados no sistema, o framework Opencpu (<https://www.opencpu.org>) fornece uma API RESTFul que, através de requisições HTTP, pode acessar as funções de todos os pacotes instalados no R [53]. O web-interface foi desenvolvido usando AngularJS (<https://angularjs.org>). Outras bibliotecas foram usadas para criar a interface, como MomentJS (<http://momentjs.com>), HighchartJS (<http://www.highcharts.com>) e Bootstrap (<http://getbootstrap.com>).

4.3.5 Requisitos do sistema

A Figura 22 mostra o diagrama de casos de uso da ferramenta, que representa a interação entre o usuário e o sistema, apresentando os requisitos para o sistema [91]. O sistema autentica

o usuário no sistema e, após a autenticação, o usuário pode interagir com o sistema gerenciando campos, safras e variedades e planejando as safras. As setas com «extend» indicam a possibilidade de execução desse requisito. As setas com «include» indicam a obrigação no que concerne à execução desse requisito.

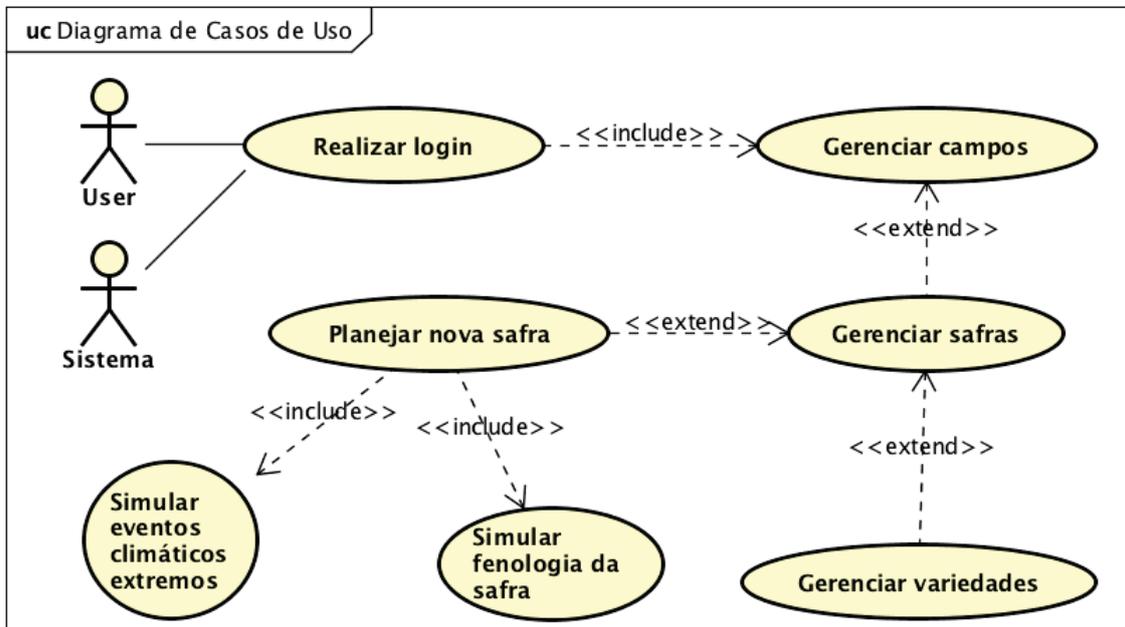


Figura 22. Diagrama de Casos de Uso da ferramenta Web

4.3.6 Modelagem do banco de dados

O módulo de banco de dados foi implementado usando a plataforma MongoDB, que armazena os dados em documentos BSON, e a modelagem foi baseada no trabalho desenvolvido por Cerbaro [82]. A modelagem definida pelo autor é capaz de armazenar dados de usuários, fazendas, campos, safras, solos, culturas, variedades e dados meteorológicos. A partir do modelo desenvolvido, foram adicionados novos documentos para armazenar os dados de estádios fenológicos, eventos climáticos extremos, cultivares, ecótipos e espécies.

Na Figura 23, é apresentado o Diagrama de Classes, no qual é apresentada a relação entre as classes e as suas associações e composições. Os dados contidos nos arquivos com coeficientes genéticos (*.CUL, *.ECO e *.SPE) foram usados para modelar as classes *Cultivar*, *Ecotype* e *Specie*. As probabilidades de eventos climáticos extremos são armazenadas na classe *AgroRisk*.

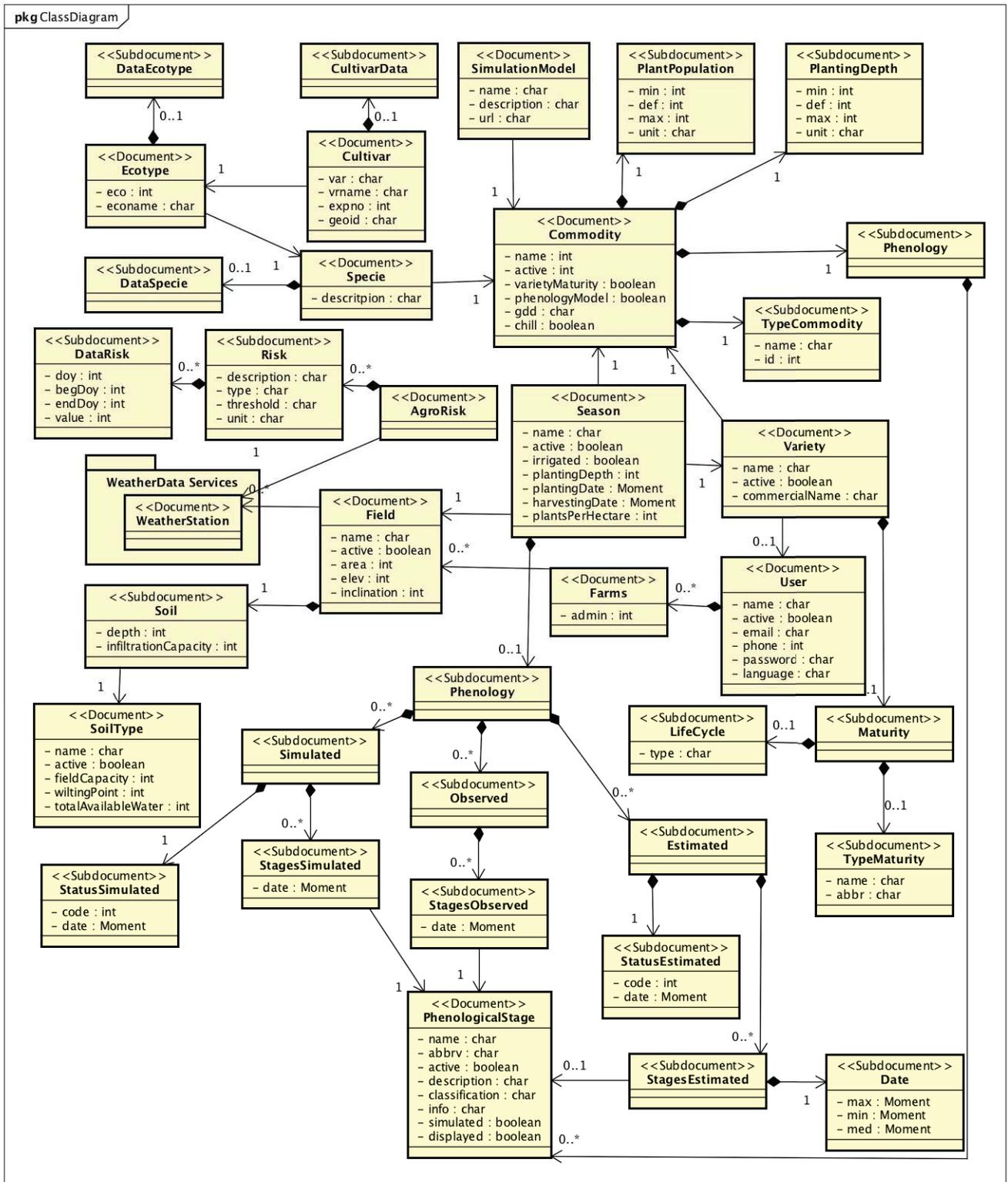


Figura 23. Diagrama de classes

4.3.7 Estrutura do sistema

A ferramenta foi projetada para suportar módulos e novos recursos a partir do seu desenvolvimento. O sistema é dividido em banco de dados, serviços web, modelos de fenologia de culturas, modelos de probabilidade de eventos climáticos extremos e a interface web (Figura 24). A ferramenta foi projetada para fazer parte do sistema web AgroClimate, seguindo os padrões estabelecidos pela estrutura do site.

Os serviços web foram desenvolvidos usando NojeJS e ExpressJS, criando uma API REST-Full. Essa API tem URLs que podem ser usados para os desenvolvedores consultar dados do banco de dados, executar modelos de fenologia de culturas, bem como obter riscos relacionados ao tempo. Os módulos de fenologia das culturas são pacotes R que simulam o desenvolvimento das culturas de soja, milho e trigo. Os eventos climáticos extremos definidos na Seção 4.3.3 são simulados por algoritmos que foram escritos utilizando a linguagem de programação R.

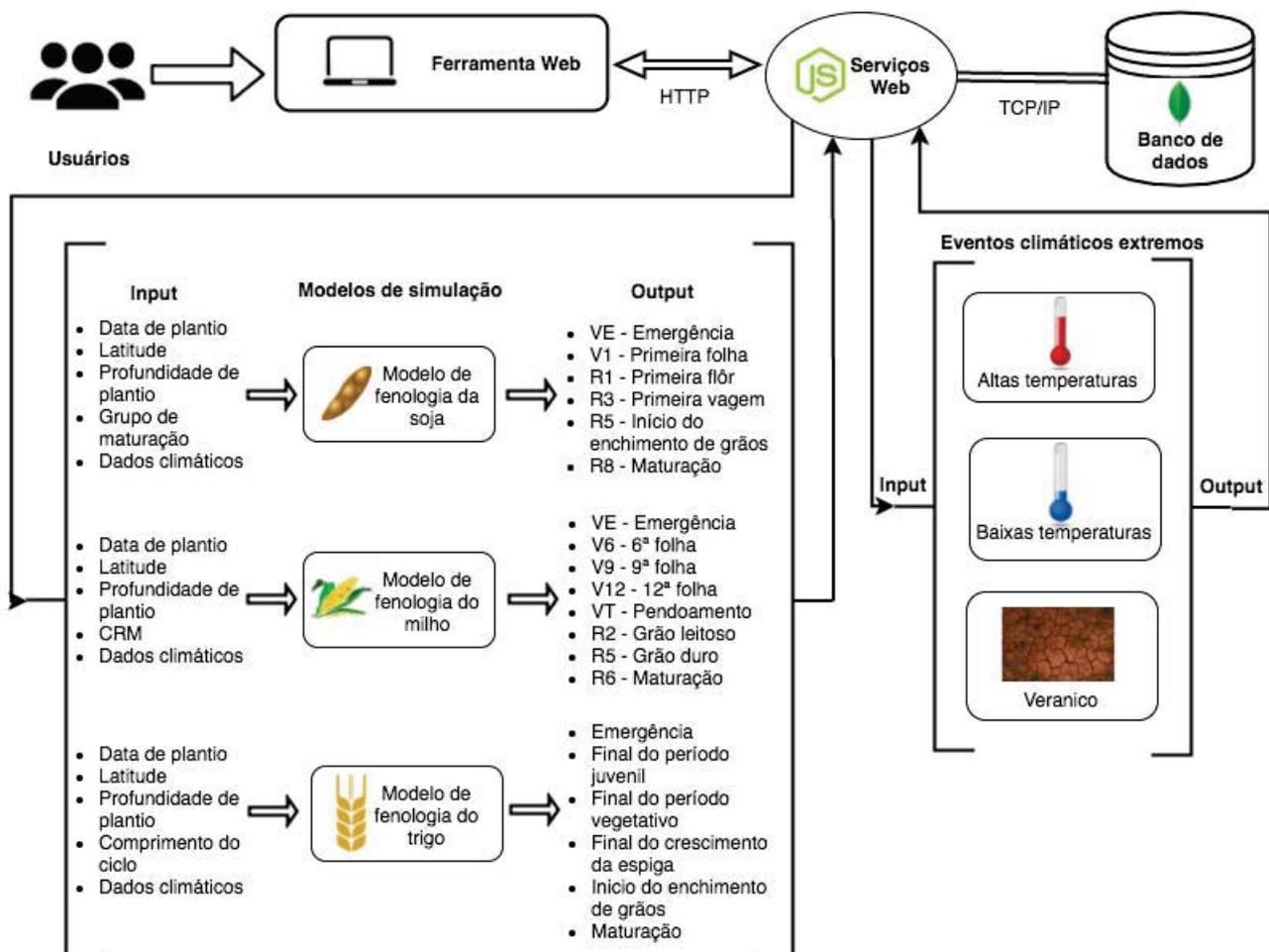


Figura 24. Estrutura do sistema apresentado com os módulos do sistema. *Input* são parâmetros/dados de entrada e *output* são dados de saída

Os modelos de fenologia das culturas são executados no sistema quando um planejamento de safra é solicitado pelo sistema web. Os pacotes R recebem os parâmetros de entrada através de requisições HTTP POST. Os modelos de fenologia das culturas obtêm os dados da estação meteorológica necessários e calculam o número de safras possíveis a serem simuladas. O modelo executa a simulação para cada safra e retorna um JSON com os dados de saída. O sistema Web obtém os dados retornados pelos serviços e os mostra ao usuário.

As probabilidades de eventos climáticos extremos são pré-calculadas para cada estação meteorológica e armazenadas no banco de dados. Quando o planejamento da safra é solicitado pelo usuário, os serviços Web obtêm as probabilidades dos eventos climáticos extremos.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Sistem Web

O sistema da web é composto pelos módulos de Login, Campo e Safra. O módulo de Login fornece recursos como autenticação do sistema, recuperação de senha e criação de usuários. O módulo de Campo fornece uma interface para criar, listar, atualizar e excluir campos. O módulo de Safra fornece uma interface para listar, atualizar, excluir e planejar novas safras. A ferramenta foi desenvolvida utilizando a língua inglesa, uma vez que faz parte do sistema AgroClimate nos EUA.

4.4.1.1 Módulo de Login

O módulo de Login abrange os recursos de gerenciamento de conta do usuário. Através desse módulo, os usuários podem criar contas, fazer login no sistema ou recuperar a senha. Se o usuário tiver credenciais, poderá efetuar login no sistema. Se não souber sua senha, poderá recuperá-la clicando no link *Forgot your password?*. Na página de recuperar senha, o usuário pode solicitar uma alteração de senha informando seu e-mail. Com o pedido feito, receberá um e-mail com instruções para alterar a senha.

4.4.1.2 Módulo de Campo

O módulo de Campo tem duas páginas, cada uma delas dedicada a uma função específica, como criar e listar campos. A página Web *List fields* possui um mapa que exhibe a posição de cada campo. Quando o usuário clica em um pino, o sistema mostrará as safras relacionadas ao campo. O usuário também pode adicionar novos campos clicando no botão *New field*. O mapa pode ser definido para diferentes tipos de relevo, como divisões políticas e imagens de satélite.

A página *New field* (Figura 25) apresenta campos de entrada que devem ser preenchidos pelo usuário. O usuário pode encontrar a estação meteorológica mais próxima arrastando o pino

Figura 25. Página *New field*

da posição do campo. A distância entre o campo e a estação meteorológica é calculada com uma equação matemática. O usuário também pode escolher o tipo de solo do campo. A posição do campo e a estação meteorológica são importantes porque os modelos de fenologia utilizam esses dados para simular a fenologia da cultura.

4.4.1.3 Módulo de Safra

O módulo de safra permite ao usuário listar, atualizar, visualizar, excluir e planejar as safras agrícolas. A página principal é o planejamento da nova safra (Figura 26). Com o objetivo de melhorar a experiência de simulação, são exibidas as seções de campo (*Field position*), estação meteorológica (*Weather station*), safra (*Crop season*), eventos climáticos extremos (*Extreme weather events*) e estádios fenológicos (*Phenological stages*).

Na página *Plan new crop season* (Figura 26), a primeira seção é a posição do campo (*Field position*), com um marcador exibindo a localização do campo. A seção estação meteorológica (*Weather station*) exibe informações sobre a estação meteorológica do campo, como o ano em que a coleta de dados meteorológicos começou e as coordenadas geográficas. Na seção da safra (*Crop season*), a data de plantio (*Planting date*), a cultura agrícola (*Commodity*), a variedade (*Variety*) e a profundidade de plantio (*Sowing depth*) devem ser definidas pelo usuário. A seção Eventos climáticos extremos (*Extreme weather events*) fornece três caixas de seleção e cada uma delas está relacionada

Fields / Seasons / Plan

Plan new crop season

Field position



Weather station

Name: BARTA
Latitude: 42.23
Longitude: -99.65
weather data start: 2000

⚠ The weather station selected has less than 20 years of data, please analyze simulation results with caution.

Crop season

Planting date: (mm/dd/yyyy) Commodity Variety Planting depth (Inch)

Extreme climate events

High temperature Low temperature Dry spell period

Phenological stages

Emergence
 Sixth leaf
 Ninth leaf
 Twelfth leaf
 Tasseling
 Blister
 Dent
 Physiological maturity

Figura 26. Página *Plan new crop season*

com um evento climático extremo específico, que são: temperaturas elevadas (*High temperature*), baixas temperaturas (*Low temperature*) e períodos de veranico (*Dry spell period*). A seção de estágios fenológicos (*Phenological stages*) exibe caixas de seleção que devem ser definidas de acordo com a preferência do usuário. Na parte inferior da página, há um botão denominado *Simulate the season*, que, quando clicado, simula a safra com os parâmetros definidos pelo usuário.

A saída da simulação é exibida em um formato gráfico (Figura 27) no qual as linhas horizontais exibem as probabilidades de cada evento climático extremo. A linha verde vertical exibe a data de plantio da safra. As colunas cinzentas são as janelas fenológicas, que representam o intervalo de tempo entre a data de ocorrência máxima e mínima do estágio fenológico nas safras históricas. Quando o usuário move o mouse sobre o gráfico, uma mensagem mostrando a data e a probabilidade de cada evento climático extremo será exibida. Depois de simular a safra e analisar os dados, o usuário pode salvar a safra clicando no botão *Save* localizado na parte inferior do gráfico. Caso contrário, ele pode alterar os parâmetros e simular novamente a safra.



Figura 27. Gráfico com as janelas de fenologia e as probabilidades de eventos climáticos extremos.

4.5 CONCLUSÃO E PESQUISA FUTURA

A implementação do sistema baseado na web para simular o desenvolvimento de fenologia de culturas com a probabilidade de eventos climáticos extremos permite aos agricultores planejar suas safras. O sistema possibilita que os usuários planejem a data de plantio com base em intervalos de tempo dos estádios fenológicos e probabilidade de eventos climáticos extremos.

Futuros planos de pesquisa são fornecer simulações com feedback dos estádios fenológicos ao usuário. Isto fornecerá dados para calibrar o modelo para o campo do agricultor. Também planejamos expandir o sistema para outros estados e países.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de ferramentas de auxílio à tomada de decisão vem ganhando destaque na agricultura. Na busca por encontrar as melhores datas de plantio para a safra, uma ferramenta que apresente cenários com base em janelas de estádios fenológicos e probabilidades de eventos climáticos torna-se importante devido à necessidade de reduzir riscos e de aumentar a probabilidade do sucesso no campo.

Visando construir uma solução para essa questão, a primeira etapa deste trabalho baseou-se na extração dos módulos fenológicos dos modelos de simulação de culturas CROPGRO-Soybean, CERES-Maize e NWheat. Após a extração e a reescrita dos módulos fenológicos, testes foram realizados para comparar a ocorrência dos estádios fenológicos dos modelos extraídos e nos modelos originais. Testes realizados até o momento apresentaram igualdade nas ocorrências.

Na segunda etapa, foram replicados algoritmos do software INSTAT, com o objetivo de apresentar probabilidades de eventos climáticos extremos. Os eventos climáticos extremos foram definidos como altas temperaturas, baixas temperaturas e veranicos.

Na terceira etapa deste projeto, foi desenvolvida a ferramenta baseada na Web, a qual é capaz de gerenciar campos e safras dos usuários e de auxiliar no planejamento de uma nova safra, disponibilizando ao usuário janelas de ocorrência de estádios fenológicos e probabilidades de eventos climáticos extremos.

6. CONCLUSÃO

Após extrair e reescrever os módulos fenológicos de modelos da plataforma DSSAT, os novos modelos podem ser utilizados na simulação de estádios fenológicos das culturas de soja, milho e trigo. A ferramenta web possibilita o gerenciamento de campos e safras, bem como o planejamento de novas safras.

Nesse contexto, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atingido, pois os novos modelos de fenologia apresentam os mesmos resultados do que os modelos originais, e a ferramenta web pode auxiliar agricultores no planejamento de novas safras.

Os novos modelos de fenologia ainda precisam que os coeficientes das cultivares sejam calibrados e a ferramenta web possibilita a simulação das culturas agrícolas de soja, milho e trigo, mas a adição de novas variedades é limitada a coeficientes calibrados.

7. TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, foram desenvolvidos os modelos de fenologia e de eventos climáticos extremos e a ferramenta de planejamento de plantio. As atividades foram discutidas objetivando a evolução do produto resultante da integração do modelo de fenologia e eventos climáticos extremos na ferramenta web.

Inicialmente, entende-se que os modelos de fenologia precisam ser otimizados. A sua estrutura possui estruturas lógicas que diminuem o seu desempenho e a otimização possibilitará que as simulações ocorram em um tempo menor.

Outra importante contribuição seria o suporte de cultivares para diversas regiões do planeta, para possibilitar a expansão do uso da ferramenta. Modificações no banco de dados e nos serviços seriam necessárias para suportar isso.

Uma terceira contribuição seria o desenvolvimento de uma interface da ferramenta para coletar o *feedback* do usuário. Com isso, seria possível armazenar a ocorrência real dos estádios fenológicos, e, partir daí, analisar a possibilidade de implementar correções na fenologia da safra, calibrando os coeficientes da cultivar com as datas dos estádios fenológicas reportadas pelo usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LAZZARETTI, A. T. *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*. Tese (Doutorado) — Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.
- [2] PAVAN, W. et al. Padrões de projeto aplicados a modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 1, n. 1, p. 15–29, 2009.
- [3] FERNANDES, J. M. C.; PAVAN, W.; SANHUEZA, R. M. Sisalert - a generic web-based plant disease forecasting system. In: *Salampasis M, Matopoulos A (eds) Proceedings of the international conference on information and communication technologies for sustainable agri-production and environment*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 225–233.
- [4] PAVAN, W.; FRAISSE, C.; PERES, N. Development of a web-based disease forecasting system for strawberries. *Computers and electronics in agriculture*, Elsevier, v. 75, n. 1, p. 169–175, 2011.
- [5] DETOMINI, E. *Modelagem da produtividade potencial de Brachiaria brizantha (variedades cultivadas Marandu e Xaraes)*. Tese (Doutorado) — Piracicaba: University of Sao Paulo-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2004: 112, 2004.
- [6] CHWIF, L. *Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1999.
- [7] MILLER, P.; LANIER, W.; BRANDT, S. Using growing degree days to predict plant stages. *Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO*, 2001.
- [8] FLOSS, E. L. *Fisiologia das plantas cultivadas*. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade de Passo Fundo, 2004.
- [9] LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, SciELO Brasil, v. 41, n. 1, p. 181–201, 1984.
- [10] PRICINOTTO, L. F. *Resposta do milho pipoca às doses e épocas de aplicação do nitrogênio em adubação de cobertura*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil, 2009.
- [11] WAGNER, M. V. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em guarapuava, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava, Paraná, Brasil, v. 4, n. 4, p. 523–537, 2011.

- [12] ABASTECIMENTO, C. N. de. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/aaSuCm>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [13] TRENTIN, R. et al. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, SciELO Brasil, v. 48, n. 7, p. 703–713, 2013.
- [14] MONSANTO. *Growth Stages Guides Channel*. 2015. Disponível em: <<http://www.channel.com/agronomics/Documents/AgronomicContentPDF/GrowthStagesAcesso>>. Acesso em: Junho. 2015.
- [15] JUNIOR, C. F. T. *Efeito de época de semeadura na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja em dois locais de Mato Grosso do Sul na safra 2004/2005*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, 2007.
- [16] SILVA, D. F. da. *Uso de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e de risco climático para a soja no Vale do Paranapanema - SP*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Agrônomo, São Paulo, Brasil, Fevereiro 2011.
- [17] EMBRAPA. *Estádios fenológicos de milho*. 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/JYECKW>>. Acesso em: Junho. 2015.
- [18] BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. *Porto Alegre: Emater/RS-Ascar*, p. 11, 2014.
- [19] ARRUDA, M. A. et al. Reação do trigo à *magnaporthe grisea* nos diferentes estádios de desenvolvimento. *Fitopatologia Brasileira*, SciELO Brasil, v. 30, n. 2, p. 121–126, 2005.
- [20] THOMPSON, J. *Wheat Production Considerations*. 2013. Disponível em: <<https://bay.ifas.ufl.edu/newsletters/2013/10/18/wheat-production-considerations/>>. Acesso em: Junho. 2015.
- [21] MILLER, T. D. Growth stages of wheat. *Better crops with plant food. Potash & Phosphate Institute*, v. 76, p. 12, 1992.
- [22] HAMADA, E.; PINTO, H. S. Avaliação do desenvolvimento do trigo utilizando medidas radiométricas em função de graus-dia. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 10, p. 95–101, 2001.
- [23] SANS, L.; GUISTEM, J. Graus-dia estimado com diferentes valores de temperatura base na cultura do milho (*zea mays l.*). In: *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso*. [S.l.: s.n.], 2002.
- [24] BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, SciELO Brasil, v. 41, n. 2, p. 243–249, 2006.

- [25] CAMARA, G. M. d. S. et al. Influência do fotoperíodo e da temperatura do ar no crescimento, floração e maturação da soja (*glycine max (l.) merrill*). *Scientia Agricola*, v. 54, n. spe, p. 149–154, 1997.
- [26] SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos cultivos. *INMET*, 2009.
- [27] ALBERTO, C. M. et al. Resposta à vernalização de cultivares brasileiras de trigo. *Bragantia*, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, v. 68, n. 2, p. 535–540, 2009.
- [28] GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; LANDAU, E. C. *Zoneamento agropecuário*. 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_16_168200511157.html>. Acesso em: Novembro. 2015.
- [29] ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 3, p. 386–399, 2001.
- [30] WHEELER, T. R. et al. Temperature variability and the yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Elsevier, v. 82, n. 1, p. 159–167, 2000.
- [31] LAB, R. *Quebra de produtividade da safrinha do milho em virtude da estimagem e das altas temperaturas*. 2016. Disponível em: <<https://3rlab.wordpress.com/2016/05/11/quebra-de-produtividade-da-safrinha-do-milho-em-virtude-da-estiagem-e-das-altas-temperaturas/>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [32] CUNHA, G. R. D.; HAAS, J. C.; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de trigo no rio grande do sul. 1999.
- [33] RESEARCH, T. A. A.; CENTER, E. *Freeze Injury on Wheat*. Disponível em: <<http://sanangelo.tamu.edu/extension/agronomy/agronomy-publications/freeze-injury-on-wheat/>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [34] GLOBO, G. *Geada e graus negativos preocupam agricultores e causam prejuízos no RS*. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/09/geada-e-graus-negativos-preocupam-agricultores-e-causam-prejuizos-no-rs.html>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [35] HERNANDEZ, F. et al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de palmeira d'oeste, estado de são paulo. *Engenharia Agrícola*, v. 23, n. 1, p. 21–30, 2003.
- [36] CARVALHO, D. d. et al. Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na bacia do rio verde grande, mg. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 4, n. 2, p. 172–176, 2000.
- [37] VALÉRIO, D. A. *Golpe duro*. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT292848-18283,00.html>>. Acesso em: Janeiro. 2017.

- [38] GASPARIN, G. 'Seca no Paraguai é a pior desde que cheguei', diz agricultor brasileiro. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2012/03/seca-no-paraguai-e-pior-desde-que-cheguei-diz-agricultor-brasileiro.html>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [39] CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos*. [S.l.]: Afonso C. Medina, 2006.
- [40] GIOLA, P. Dssat and salus modeling of nitrate leaching as influenced by manure and slurry application: evaluation of management options. Università degli studi di Sassari, 2011.
- [41] JONES, J. W. et al. The dssat cropping system model. *European journal of agronomy*, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 235–265, 2003.
- [42] JONES, J. W. et al. Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0. volume 4. dssat v4.5: Crop model documentation. *International Consortium for Agricultural Systems Applications*, University of Hawaii, 2010.
- [43] HARTKAMP, A.; HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. Adaptation of the cropgro growth model to velvet bean (*mucuna pruriens*): I. model development. *Field Crops Research*, Elsevier, v. 78, n. 1, p. 9–25, 2002.
- [44] OLIVEIRA, E. C. d. et al. The performance of the cropgro model for bean (*phaseolus vulgaris* l.) yield simulation. *Acta Scientiarum. Agronomy*, SciELO Brasil, v. 34, n. 3, p. 239–246, 2012.
- [45] DALLACORT, R. et al. Utilização do modelo cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de palotina, estado do paraná. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 4, p. 583–589, 2008.
- [46] BANTERNG, P. et al. Application of the cropping system model (csm)-cropgro-soybean for determining optimum management strategies for soybean in tropical environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Wiley Online Library, v. 196, n. 3, p. 231–242, 2010.
- [47] SOLER, C. M. T. *Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho "safrinha"*. Tese (Doutorado) — Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2004.
- [48] ALDERMAN, P. et al. Temperature routines in nwheat. In: CIMMYT. *Proceedings of the Workshop on Modeling Wheat Response to High Temperature*. [S.l.], 2013. p. 31–38.
- [49] ASSENG, S. et al. Simulation of grain protein content with apsim-nwheat. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 25–42, 2002.
- [50] NASCIMENTO, M. B. *MongoDB: Um Estudo Teórico-Prático do Conceito de Banco de Dados NoSQL*. 2014.
- [51] TILKOV, S.; VINOSKI, S. Node. js: Using javascript to build high-performance network programs. *IEEE Internet Computing*, IEEE Computer Society, v. 14, n. 6, p. 80, 2010.

- [52] JUNIOR, F. d. A. R. *Programação Orientada a Eventos no lado do servidor utilizando Node.js*. 2012.
- [53] OOMS, J. The opencpu system: Towards a universal interface for scientific computing through separation of concerns. *arXiv preprint arXiv:1406.4806*, 2014.
- [54] TEAM, R. C. R language definition. *Vienna, Austria: R foundation for statistical computing*, 2000.
- [55] PAVAN, W. *Técnicas de Engenharia de Software Aplicadas a Modelagem e Simulação de Doenças de Plantas*. Tese (Doutorado) — Universidade de Passo Fundo, 2007.
- [56] GREEN, B.; SESHADRI, S. *AngularJS*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [57] HEINEMANN, P. Decision support system for food and agriculture. *System analysis and modelling in food and agriculture, Encyclopaedia of life support system (EOLSS)*, 2010.
- [58] CHEVALIER, R. F. et al. A web-based fuzzy expert system for frost warnings in horticultural crops. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 35, p. 84–91, 2012.
- [59] PAN, X.; HESKETH, J.; HUCK, M. Owsimu: an object-oriented and web-based simulator for plant growth. *Agricultural Systems*, Elsevier, v. 63, n. 1, p. 33–47, 2000.
- [60] SILVA, D. A. B.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. d. S. Sistema de redução de riscos climáticos para culturas agrícolas. *XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2009.
- [61] MUNIZ, L. et al. Modelagem e simulação na agropecuária. *PUBVET, Londrina*, v. 1, n. 11, 2007.
- [62] TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. *Understanding options for agricultural production*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013. v. 7.
- [63] FRAISSE, C.; SUDDUTH, K.; KITCHEN, N. Calibration of the ceres–maize model for simulating site–specific crop development and yield on claypan soils. *Applied Engineering in Agriculture*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 17, n. 4, p. 547, 2001.
- [64] KEATING, B. et al. Nwheat: documentation and performance of a wheat module for apsim. Queensland (Australia) CSIRO, 2001.
- [65] KASSIE, B. T. et al. Performance of dssat-nwheat across a wide range of current and future growing conditions. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, v. 81, p. 27–36, 2016.
- [66] JÚNIOR, A. J. S. d. C. et al. Engenharia reversa. *Trabalho de Graduação em Ciência da Computação Informática I pela Universidade Federal Fluminense*, 2005.
- [67] THORP, K. R. et al. Methodology for the use of dssat models for precision agriculture decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 64, n. 2, p. 276–285, 2008.

- [68] TOLLENAAR, M. *Maize Phenology by Model*. 2013. Disponível em: <<http://research.agmip.org/display/mmiwiki/Maize+Phenology+by+Model>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [69] ZHENG, B. et al. *The APSIM-Wheat Module (7.5 R3008)*. 2014. Disponível em: <<https://www.apsim.info/Documentation/Model,CropandSoil/CropModuleDocumentation/Wheat.aspx>>. Acesso em: Janeiro. 2017.
- [70] FOUNTAS, S. et al. A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, Elsevier, v. 87, n. 2, p. 192–210, 2006.
- [71] COX, P. Some issues in the design of agricultural decision support systems. *Agricultural systems*, Elsevier, v. 52, n. 2-3, p. 355–381, 1996.
- [72] KRISHNAN, P. et al. Web-based crop model: Web infocrop–wheat to simulate the growth and yield of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 127, p. 324–335, 2016.
- [73] SMALL, I. M.; JOSEPH, L.; FRY, W. E. Development and implementation of the blightpro decision support system for potato and tomato late blight management. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 115, p. 57–65, 2015.
- [74] TRNKA, M. et al. Adverse weather conditions for european wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, Nature Publishing Group, v. 4, n. 7, p. 637–643, 2014.
- [75] HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, Elsevier, v. 10, p. 4–10, 2015.
- [76] USDA. *USDA report*. 2016. Disponível em: <<http://www.usda.gov/nass/PUBS/TODAYRPT/acrg0616.pdf>>. Acesso em: Dezembro. 2016.
- [77] ROSENZWEIG, C. et al. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. *Global change and human health*, Springer, v. 2, n. 2, p. 90–104, 2001.
- [78] SHAH, N.; PAULSEN, G. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, Springer, v. 257, n. 1, p. 219–226, 2003.
- [79] PEARCE, R. S. Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, Annals Botany Co, v. 87, n. 4, p. 417–424, 2001.
- [80] CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T. d.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em londrina-pr, utilizando o modelo ceres-maize. *Engenharia Agrícola*, SciELO Brasil, v. 24, n. 2, p. 291–300, 2004.

- [81] FRAISSE, C. et al. Agclimate: A climate forecast information system for agricultural risk management in the southeastern usa. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 53, n. 1, p. 13–27, 2006.
- [82] CERBARO, V. A. *Crop Drone: Uma solução para coleta, armazenamento e disponibilização de dados agrícolas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Passo Fundo, 2016.
- [83] HUBBARD, K. G.; ROSENBERG, N. J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. *Journal of Water Resources Planning and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 109, n. 3, p. 213–222, 1983.
- [84] STERN, R. et al. Instat climatic guide. *University of Reading*, 2006.
- [85] BARRON, J. et al. Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east africa. *Agricultural and forest meteorology*, Elsevier, v. 117, n. 1, p. 23–37, 2003.
- [86] RAES, D. et al. Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in zimbabwe. *Agricultural and forest meteorology*, Elsevier, v. 125, n. 3, p. 177–185, 2004.
- [87] CARTER, E. K. *Heat Stress In Irrigated Maize*. Dissertação (Mestrado) — Cornell University, 2015.
- [88] KUMUDINI, S. et al. Predicting maize phenology: intercomparison of functions for developmental response to temperature. *Agronomy Journal*, The American Society of Agronomy, Inc., v. 106, n. 6, p. 2087–2097, 2014.
- [89] CARTER, P.; HESTERMAN, O. Handling corn damaged by autumn frost. *National corn handbook (USA)*, 1990.
- [90] WOLI, P. et al. El niño–southern oscillation effects on winter wheat in the southeastern united states. *Agronomy Journal*, The American Society of Agronomy, Inc., v. 107, n. 6, p. 2193–2204, 2015.
- [91] GRECHANIK, M.; MCKINLEY, K. S.; PERRY, D. E. Recovering and using use-case-diagram-to-source-code traceability links. In: ACM. *Proceedings of the the 6th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering*. [S.l.], 2007. p. 95–104.

APÊNDICE A – ARQUIVOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DO CROPGRO-SOYBEAN

A seguir, são apresentados os arquivos que formam a entrada de dados dos modelos utilizados nas simulações com o CROPGRO-Soybean e com o novo modelo de fenologia. São apresentados três arquivos, o primeiro, denominado de SBGRO046.CUL, apresenta dados sobre coeficientes da cultivar, o segundo arquivo, denominado de SBGRO046.ECO, apresenta coeficientes de espécies e o terceiro arquivo, denominado de SBGRO046.SPE, apresenta dados da espécie. Ambos os arquivos foram extraídos da plataforma DSSAT [41].

*SOYBEAN GENOTYPE COEFFICIENTS: CRGR0046 MODEL

```

!
! COEFF      DEFINITIONS
! =====
! VAR#       Identification code or number for a specific cultivar.
! VAR-NAME   Name of cultivar
! EXPNO      Number of experiments used to estimate cultivar parameters
! ECO#       Code for the ecotype to which this cultivar belongs (see *.eco file)
! CSDL       Critical Short Day Length below which reproductive development
!            progresses with no daylength effect (for shortday plants) (hour)
! PPSEN      Slope of the relative response of development to photoperiod with time
!            (positive for shortday plants) (1/hour)
! EM-FL      Time between plant emergence and flower appearance (R1)
!            (photothermal days)
! FL-SH      Time between first flower and first pod (R3) (photothermal days)
! FL-SD      Time between first flower and first seed (R5) (photothermal days)
! SD-PM      Time between first seed (R5) and physiological maturity (R7)
!            (photothermal days)
! FL-LF      Time between first flower (R1) and end of leaf expansion
!            (photothermal days)
! LFMAX      Maximum leaf photosynthesis rate at 30 C, 350 vpm CO2, and high light
!            (mg CO2/m2-s)
! SLAVR      Specific leaf area of cultivar under standard growth conditions
!            (cm2/g)
! SIZLF      Maximum size of full leaf (three leaflets) (cm2)
! XFRT       Maximum fraction of daily growth that is partitioned to seed + shell
! WTPSD      Maximum weight per seed (g)
! SFDUR      Seed filling duration for pod cohort at standard growth conditions
!            (photothermal days)
! SDPDV      Average seed per pod under standard growing conditions (#/pod)
! PODUR      Time required for cultivar to reach final pod load under optimal
!            conditions (photothermal days)
! THRSH      Threshing percentage. The maximum ratio of (seed/(seed+shell))
!            at maturity. Causes seeds to stop growing as their dry weight
!            increases until shells are filled in a cohort.
! SDPRO      Fraction protein in seeds (g(protein)/g(seed))
! SDLIP      Fraction oil in seeds (g(oil)/g(seed))
!
@VAR#  VAR-NAME..... EXPNO  ECO#  CSDL  PPSEN  EM-FL  FL-SH  FL-SD  SD-PM  FL-LF  LFMAX  SLAVR
SIZLF  XFRT  WTPSD  SFDUR  SDPDV  PODUR  THRSH  SDPRO  SDLIP
!
!           1    2    3    4    5    6    7    8    9
10    11    12    13    14    15    16    17    18
990013 M GROUP  0      . SB0001 14.10 0.171 16.8   6.0  13.0 30.80 26.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.19 23.0  2.20 10.0  77.0  .405  .205
990001 M GROUP  1      . SB0101 13.84 0.203 17.0   6.0  13.0 31.60 26.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.19 23.0  2.20 10.0  77.0  .405  .205
990002 M GROUP  2      . SB0201 13.59 0.249 17.4   6.0  13.5 32.40 26.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.19 23.0  2.20 10.0  77.0  .405  .205
990003 M GROUP  3      . SB0301 13.40 0.285 19.0   6.0  14.0 33.20 26.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.19 23.0  2.20 10.0  77.0  .405  .205
990004 M GROUP  4      . SB0401 13.09 0.294 19.4   7.0  15.0 34.00 26.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.19 23.0  2.20 10.0  77.0  .405  .205
990005 M GROUP  5      . SB0501 12.83 0.303 19.8   8.0  15.5 34.80 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200
990006 M GROUP  6      . SB0601 12.58 0.311 20.2   9.0  16.0 35.60 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200
990007 M GROUP  7      . SB0701 12.33 0.320 20.8  10.0  16.0 36.40 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200
990008 M GROUP  8      . SB0801 12.07 0.330 21.5  10.0  16.0 37.20 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200
990009 M GROUP  9      . SB0901 11.88 0.340 23.0  10.0  16.0 37.40 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200
990010 M GROUP 10     . SB1001 11.78 0.349 23.5  10.0  16.0 37.40 18.00 1.030 375.
180.0 1.00 0.18 23.0  2.05 10.0  78.0  .400  .200

```

*SOYBEAN ECOTYPE COEFFICIENTS: CRGR0046 MODEL

```

!
! COEFF  DEFINITIONS
! =====
! ECO#    Code for the ecotype to which a cultivar belongs (see *.cul file)
! ECONAME Name of the ecotype, which is referenced from *.CUL file
! MG      Maturity group number for this ecotype, such as maturity group in soybean
! TM      Indicator of temperature adaptation
! THVAR   Minimum rate of reproductive development under long days and optimal temperature
! PL-EM   Time between planting and emergence (V0) (thermal days)
! EM-V1   Time required from emergence to first true leaf (V1), thermal days
! V1-JU   Time required from first true leaf to end of juvenile phase, thermal days
! JU-R0   Time required for floral induction, equal to the minimum number of days for floral
induction under optimal temperature and daylengths, photothermal days
! PM06    Proportion of time between first flower and first pod for first peg (peanut only)
! PM09    Proportion of time between first seed and physiological maturity that the last seed
can be formed
! LNGSH   Time required for growth of individual shells (photothermal days)
! R7-R8   Time between physiological (R7) and harvest maturity (R8) (days)
! FL-VS   Time from first flower to last leaf on main stem (photothermal days)
! TRIFL   Rate of appearance of leaves on the mainstem (leaves per thermal day)
! RWDTH   Relative width of this ecotype in comparison to the standard width per node (YVSWH)
defined in the species file (*.SPE)
! RHGHT   Relative height of this ecotype in comparison to the standard height per node (YVSHT)
defined in the species file (*.SPE)
! R1PPO   Increase in daylength sensitivity after R1 (CSDVAR and CLDVAR both decrease with the
same amount) (h)
! OPTBI   Minimum daily temperature above which there is no effect on slowing normal
development toward flowering (oC)
! SLOBI   Slope of relationship reducing progress toward flowering if TMIN for the day is less
than OPTBI
!

```

```

@ECO#  ECONAME..... MG TM THVAR PL-EM EM-V1 V1-JU JU-R0  PM06  PM09 LNGSH R7-R8 FL-VS
TRIFL RWDTH RHGHT R1PPO OPTBI SLOBI
!
!      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
11  12  13  14  15  16
SB001 MATURITY_GROUP_0 00 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 26.00
0.32 1.0 1.0 .189 18.0 .028
SB011 MATURITY_GROUP_1 01 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 26.00
0.32 1.0 1.0 .234 18.0 .028
SB021 MATURITY_GROUP_2 02 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 26.00
0.32 1.0 1.0 .279 18.0 .028
SB031 MATURITY_GROUP_3 03 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 26.00
0.32 1.0 1.0 .324 18.0 .028
SB041 MATURITY_GROUP_4 04 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 26.00
0.32 1.0 1.0 .369 20.0 .035
SB051 MATURITY_GROUP_5 05 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .414 20.0 .035
SB061 MATURITY_GROUP_6 06 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .459 20.0 .035
SB071 MATURITY_GROUP_7 07 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .504 20.0 .035
SB081 MATURITY_GROUP_8 08 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .549 20.0 .035
SB091 MATURITY_GROUP_9 09 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .549 20.0 .035
SB101 MATURITY_GROUP_10 10 01 0.0 3.6 6.0 0.0 05.0 0.0 0.35 10.0 12.0 9.00
0.32 1.0 0.9 .549 20.0 .035

```

*SOYBEAN SPECIES COEFFICIENTS: CRGR0046 MODEL

!*PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS

40.00 61.00 0.67 0.10 PARMAX,PHTMAX,KCAN, KC_SLOPE
 ! 40.00 61.00 0.68 0.10 PARMAX,PHTMAX,KCAN, KC_SLOPE
 !Note: Kcan can be overridden by value in Ecotype file, if present
 !Kc_slope is the slope of Kcan with ratio of Rowsp:PlantSp (see DEMAND subroutine).
 !Kc_slope is optional, default value is 0.10.
 79.0 2.08 .0106 CCMP,CCMAX,CCEFF; CO2 EFFECT ON PGCAN
 ! 80.0 2.09 .0105 CCMP,CCMAX,CCEFF; CO2 EFFECT ON PGCAN
 1.90 5.50 20.0 20.0 QDR FNPNG(4),TYPPGN-LEAF N EFFECT ON PG
 6.00 22.0 34.0 45.0 LIN FNPNG(4),TYPPGN-LEAF N EFFECT ON PG
 ! 3.00 22.0 34.0 45.0 LIN FNPNG(4),TYPPGN-LEAF N EFFECT ON PG
 0.0 8.0 40.0 44.0 48.0 55.0 XLMAXT (6 VALUES)
 0.0 0.0 1.0 0.8 0.0 0.0 YLMAXT (6 VALUES)
 0.00 19.00 50.0 60.0 QDR FNPGL(4),TYPPGL-TMIN EFFECT-LEAF PG
 .0541 0.20 0.80 2.0 PGEFF SCV KDIF, LFANGB
 ! .0035 .0004 .3000 4.90 1.030 SLWREF,SLWSLO,NSLOPE, LNREF,PGREF
 .0036 .0004 .3000 4.90 1.030 SLWREF,SLWSLO,NSLOPE, LNREF,PGREF

 0.0 .001 .002 .003 .0035 .004 .005 .006 .008 .010 XPGSLW(1-10)
 .162 .679 .867 .966 1.000 1.027 1.069 1.100 1.141 1.167 YPGSLW(1-10)

!*RESPIRATION PARAMETERS

3.5E-04 .0040 RES30C,R30C2
 2.556 2.556 .360 2.830 RN03C,RNH4C,RPRO,RFIXN
 1.242 3.106 2.174 .929 0.05 1.13 RCH20,RLIP,RLIG,ROA,RMIN,PCH20

!*PLANT COMPOSITION VALUES

! .356 .285 .112 .165 .110 .035 PROLFI,PROLFG,PROLFF,PROSTI,PROSTG,PROSTF
 .356 .285 .112 .150 .100 .035 PROLFI,PROLFG,PROLFF,PROSTI,PROSTG,PROSTF
 .092 .064 .056 .250 .196 .050 PRORTI,PRORTG,PRORTF,PROSHI,PROSHG,PROSHF
 .400 .400 .300 .030 .080 .800 SDPROS,SDPROG,PRONOD,PROMIN,PROMAX,THETA
 ! .405 .649 .711 .380 .315 .480 PCARLF,PCARST,PCARRT,PCARSH,PCARSD,PCARNO
 .405 .664 .711 .380 .315 .480 PCARLF,PCARST,PCARRT,PCARSH,PCARSD,PCARNO
 .025 .020 .020 .020 .050 PLIPLF,PLIPST,PLIPRT,PLIPSH,PLIPNO
 .070 .070 .070 .280 .020 .070 PLIGLF,PLIGST,PLIGRT,PLIGSH,PLIGSD,PLIGNO
 .050 .050 .050 .040 .040 .050 POALF,POAST,POART,POASH,POASD,POANO
 .094 .046 .057 .030 .025 .050 PMINLF,PMINST,PMINRT,PMINSH,PMINSD,PMINNO

!*SEED COMPOSITION VALUES

7.168 23.65 0.908 0.180 LIPTB,LIPOPT,SLOSUM*100,CARMIN

!*CARBON AND NITROGEN MINING PARAMETERS

0.024 0.75 .260 .090 0.35 0.15 CMOBMX,CADSTF,CADPR1,NMOBMX,NVSMOB,NRCVR
 ! 0.025 0.75 .260 .090 0.35 0.15 CMOBMX,CADSTF,CADPR1,NMOBMX,NVSMOB,NRCVR
 SD XPODF
 0.04 0.08 0.04 0.08 ALPHL,ALPHS,ALPHR,ALPHSH

!*NITROGEN FIXATION PARAMETERS

.045 .170 .014 0.0 0.07 0.05 SNACTM,NODRGM,DWNODI,TTFIX,NDTHMX,CNODCR
 7.00 22.0 35.0 44.0 LIN FNNGT(4),TYPNGT-TEMP EFF ON NOD GROWTH
 5.00 20.0 35.0 44.0 LIN FNFXT(4),TYPFXT-TEMP EFF ON N FIX
 0.00 0.85 1.00 10.0 LIN FNFXD(4),TYPFXD-REL SW-DRY EFF ON N FIX
 -.02 .001 1.00 2.00 LIN FNFXT(4),TYPFXT-TEMP EFF ON N FIX
 0.00 0.10 1.00 0.00 INL FNFXA(4),TYPFXA-AGE EFF ON N FIX

!*VEGETATIVE PARTITIONING PARAMETERS

0.0 1.5 3.3 5.0 7.8 10.5 30.0 40.0 XLEAF VALUES
 0.41 0.42 0.42 0.41 0.36 0.32 0.31 0.31 YLEAF VALUES
 0.09 0.13 0.21 0.29 0.37 0.49 0.49 0.49 YSTEM VALUES
 0.55 0.58 0.55 0.24 1.00 0.05 WTFSD,PORPT,FRSTMF,FRLFF,ATOP,FRCNOD
 0.70 FRLFMX

!*LEAF GROWTH PARAMETERS

! 280. 350. 171.4 5.0 0.0 FINREF,SLAREF,SIZREF,VSSINK,EVMODC

```

180. 350. 171.4 5.0 0.0 FINREF,SLAREF,SIZREF,VSSINK,EVMODC
950. 250.0 -.048 1.50 SLAMAX,SLAMIN,SLAPAR,TURSLA

0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 XVGROW(1-6), VSTAGE VALUES
0.0 20.0 55.0 110.0 200.0 320.0 YVREF(1-6), LEAF AREA VALUES,CM2
-50.0 00.0 12.0 22.0 60.0 XSLATM(1-5),TEMP VALUES
0.25 0.25 0.25 1.00 1.0 YSLATM(1-5),EFFECT ON SLA

!*LEAF SENESCENCE FACTORS
0.80 0.20 0.06 -2.22 -5.00 SENRTE,SENRT2,SENDAY,FREEZ1,FREEZ2
! 0.80 0.20 0.06 -2.22 -5.00 SENRTE,SENRT2,SENDAY,FREEZ1,FREEZ2
0.80 10.0 ICMP,TCMP(Light comp, time constant-senes)

! .....XSTAGE..... .....XSENMX.....
0.0 5.0 14.0 30.0 3.0 5.0 10.0 30.0
! .....SENPOR..... .....SENMAX.....
0.0 0.0 0.12 0.12 0.0 0.2 0.6 0.6

!*ROOT PARAMETERS
20.0 7500. 0.020 0.1 .015 1.50 0.04 RTDEPI,RFAC1,RTSEN,RLDSM,RTSDF,RWUEP1,RWUMX
! 25.0 7500. 0.020 0.1 .015 1.50 0.04 RTDEPI,RFAC1,RTSEN,RLDSM,RTSDF,RWUEP1,RWUMX
0.0 2.50 3.0 2.50 6.0 2.60 30.0 2.60 XRTFAC,YRTFAC
! 0.0 2.50 3.0 2.50 6.0 2.50 30.0 2.50 XRTFAC,YRTFAC
0.006 0.006 0.02 0.10 RTN03,RTNH4,PORMIN,RTEXF

!*SEED AND SHELL GROWTH PARAMETERS
0.60 0.3 0.00 100. SETMAX,SRMAX,RFLWAB,XMPAGE
15.0 0.0 0.0 DSWBAR,XFRMAX,SHLAG
14.0 21.0 26.5 40.0 QDR FNPDT(1-4),TYPPDT-TEMP EFFECT ON POD SET
6.0 21.0 23.5 41.0 QDR FNSDT(1-4),TYPSTDT-TEMP EFFECT ON SD GRWTH
0.00 5.00 20.00 35.00 45.00 60.00 XXFTEM(1-6),TEMPERATURES
1.00 1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 YXFTEM(1-6),REL CHG IN PARTIT
0.00 0.50 1.00 1.00 XSWFAC(1-4)
0.00 1.00 1.00 1.00 YSWFAC(1-4)
0.00 0.01 0.25 1.00 1.00 XSWBAR(1-5),REL WATER TOPSOIL
1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 YSWBAR(1-5),EFFECT ON PNUT PEGGING
0.00 0.50 0.75 1.00 XTRFAC(1-4),TURFAC
0.00 0.00 0.00 0.00 YTRFAC(1-4),ENHANCE REPROD. GROWTH

!*POD LOSS PARAMETERS
N 6.0 .3961 -.865 1.00 0.00 DETACH,DWC,PR1DET,PR2DET,XP1DET,XP2DET

!*PHENOLOGY PARAMETERS
! TB T01 T02 TM I
7.0 28.0 35.0 45.0 1 VEGETATIVE_DEVELOPMENT
6.0 26.0 30.0 45.0 2 EARLY_REPRODUCTIVE_DEVELOPMENT
-15.0 26.0 34.0 45.0 3 LATE_REPRODUCTIVE_DEVELOPMENT

!FOLLOWING LINE: STAGE; REF STAGE; PHOTOPERIOD FUNCTION; TEMPERATURE FUNCT;
!POINTER TO VEGD(1) OR REPDA(2) OR REPDB(3) TEMP SENS; SENS TO WATER;N; AND P
1 1 NON LIN 1 -0.20 0.00 0.00 PLANT(STG_1)_TO_EMERG(STG_2)_PHASE
2 2 NON LIN 1 -0.20 0.00 0.00 EMERG(STG_2)_TO_V1(STG_3)_PHASE
3 2 NON LIN 1 -0.40 0.00 0.00 EMERG(STG_2)_TO_END_JV(STG_4)_PHASE
4 4 INL LIN 2 -0.40 0.00 0.00 END_JV(STG_4)_TO_FL_IND(STG_5)_PHASE
5 5 INL LIN 2 -0.40 0.00 0.00 FL_IND(STG_5)_TO_1ST_FL(STG_6)_PHASE
6 6 INL LIN 2 -0.40 0.00 0.00 1ST_FL(STG_6)_TO_1ST_PEG(STG_7)_PHASE
7 6 INL LIN 2 -0.40 0.00 0.00 1ST_FL(STG_6)_TO_1ST_POD(STG_8)_PHASE
8 6 INL LIN 2 -0.40 0.00 0.00 1ST_FL(STG_6)_TO_1ST_SD(STG_9)_PHASE
9 9 INL LIN 3 0.70 0.40 0.00 1ST_SD(STG_9)_TO_LST_SD(STG_10)_PHASE
10 9 INL LIN 3 0.70 0.40 0.00 1ST_SD(STG_9)_TO_PH_MAT(STG_11)_PHASE
11 11 NON NON 1 0.00 0.00 0.00 PH_MAT(STG_11)_TO_H_MAT(STG_12)_PHASE
12 6 INL LIN 2 -0.60 0.00 0.00 1ST_FL(STG_6)_TO_LST_VST(STG_13)_PHASE
13 6 INL LIN 2 -0.90 0.00 0.00 1ST_FL(STG_6)_TO_LST_LF(STG_14)_PHASE

!*CANOPY HEIGHT AND WIDTH GROWTH PARAMETERS
! VSTAGE, FOLLOWED BY INTERNODE LENGTH PER NODE, THEN CANOPY WIDTH PER NODE
! 0.00 1.00 4.00 6.00 8.00 10.00 14.00 16.00 20.00 40.00 XVSHT(1-10)

```

```

! .0300 .0530 .0640 .0670 .0710 .0680 .0640 .0520 .0360 .0060 YVSHT(1-10)
! .0300 .0510 .0630 .0650 .0680 .0650 .0610 .0460 .0250 .0010 YVSWH(1-10)
  0.00  1.00  4.00  6.00  8.00 10.00 14.00 16.00 20.00 40.00 XVSHT(1-10)
.0300 .0530 .0630 .0660 .0690 .0660 .0620 .0510 .0340 .0060 YVSHT(1-10)
.0300 .0510 .0620 .0640 .0660 .0630 .0590 .0460 .0250 .0010 YVSWH(1-10)

-50.0  00.0  15.0  26.0  60.0                                XHWTEM(1-5),TEMPERATURES
  0.40  0.40  0.50  1.00  1.00                                YHWTEM(1-5),RELATIVE EXPAN
  0.00  5.00  7.50 10.00 15.00 20.00 30.00 80.00          XHWPAR(1-8),PAR VALUES
  4.00  2.00  1.50  1.25  1.05  1.00  1.00  1.00          YHWPAR(1-8),RELATIVE EXPAN

```

!*EVAPOTRANSPIRATION

```

  0.68  1.1      KEP, EORATIO
!  0.72  1.1      KEP, EORATIO

```

*PHOSPHORUS CONTENT

! Two options for Optimum and minimum P concentrations for shoots:

! (1) supply values for shoots (leaf plus stem)

! (2) supply values individually for leaf and for stem

! If positive values for shoots are supplied, any values supplied for leaf and

! stem will be ignored.

```

-99.0  -99.0  -99.0  Optimum Shoot Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0030 0.0025 0.0015 Optimum Leaf Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0020 0.0016 0.0010 Optimum Stem Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0014 0.0012 0.0005 Optimum Root Conc (emergence, 1st flower, full seed)
-99.0  0.0040 0.0005 Optimum Shell Conc (emergence, 1st flower, full seed)
-99.0  0.0045 0.0040 Optimum Seed Conc (emergence, 1st flower, full seed)

```

```

-99.0  -99.0  -99.0  Minimum Shoot Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0020 0.0015 0.0010 Minimum Leaf Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0003 0.0003 0.0003 Minimum Stem Conc (emergence, 1st flower, full seed)
0.0003 0.0003 0.0003 Minimum Root Conc (emergence, 1st flower, full seed)
-99.0  0.0003 0.0003 Minimum Shell Conc (emergence, 1st flower, full seed)
-99.0  0.0030 0.0030 Minimum Seed Conc (emergence, 1st flower, full seed)

```

```

  50.0  20.0  10.0  Maximum Veg N:P ratio (emergence, 1st flower, full seed)
   5.0   5.0   1.0  Minimum Veg N:P ratio (emergence, 1st flower, full seed)

```

```

  0.80  1.00  SRATPHOTO, SRATPART

```

```

  0.20      FracPMobil - max fraction of P which can be mobilized from leaf & stem / day

```

```

0.0020      ROOTRAD - radius of cylinder around roots from which soil P can be extracted
(m)

```

*NITROGEN STRESS PARAMETERS

```

  0.70  1.00  NSTR_FAC, NSTR_EXP !Operate on NSTRES (VEGGR 235)
  1.00      NRAT_FAC             !Operate on NRATIO (VEGGR 297)
!  0.10  0.50  EXCS_FAC, EXCS_EXP !Operate on EXCESS (VEGGR 366)
  0.20  0.50  EXCS_FAC, EXCS_EXP !Operate on EXCESS (VEGGR 366)

```

```

!  0.70  1.00  NSTR_FAC, NSTR_EXP !Operate on NSTRES (VEGGR 235)
!  0.80      NRAT_FAC             !Operate on NRATIO (VEGGR 297)
!  0.10  0.30  EXCS_FAC, EXCS_EXP !Operate on EXCESS (VEGGR 366)

```

!! DEFAULT VALUES:

```

!  0.70  1.00  NSTR_FAC, NSTR_EXP !Operate on NSTRES (VEGGR 235)
!  1.00      NRAT_FAC             !Operate on NRATIO (VEGGR 297)
!  0.20  0.50  EXCS_FAC, EXCS_EXP !Operate on EXCESS (VEGGR 366)

```

APÊNDICE B – ARQUIVOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DO CERES-MAIZE

A seguir, são apresentados os arquivos que formam a entrada de dados dos modelos utilizados nas simulações com o CERES-Maize e com o novo modelo de fenologia. São apresentados três arquivos, o primeiro, denominado de MZCER046.CUL, apresenta dados sobre coeficientes da cultivar, o segundo arquivo, denominado de MZCER046.ECO, apresenta coeficientes de espécies e o terceiro arquivo, denominado de MZCER046.SPE, apresenta dados da espécie. Ambos os arquivos foram extraídos da plataforma DSSAT [41].

*MAIZE CULTIVAR COEFFICIENTS: MZCER046 MODEL

!
 !The P1 values for the varieties used in experiments IBWA8301 and
 !UFGA8201 were recalibrated to obtain a better fit for version 3
 !of the model. After converting from 2.1 to 3.0 the varieties
 !IB0035, IB0060, and IB0063 showed an earlier simulated flowering
 !date. To correct this, the P1 values were recalibrated.
 !The reason for this is that there was an error in PHASEI in
 !version 2.1 that had TLNO=IFIX(CUMDTT/21.+6.) rather than
 !TLNO=IFIX(SUMDTT/21.+6.); see p. 74 of Jones & Kiniry.
 !-Walter Bowen, 22 DEC 1994.

!
 !All G2 values were increased by a factor of 1.1 for Ritchie's
 !change to RUE -Walter, 28 DEC 1994

!
 ! COEFF DEFINITIONS
 ! ===== =====
 ! VAR# Identification code or number for a specific cultivar
 ! VAR-NAME Name of cultivar
 ! EXPNO Number of experiments used to estimate cultivar parameters
 ! ECO# Ecotype code of this cultivar, points to the Ecotype in the
 ! ECO file (currently not used).
 ! P1 Thermal time from seedling emergence to the end of the juvenile
 ! phase (expressed in degree days above a base temperature of 8 deg.C)
 ! during which the plant is not responsive to changes in
 ! photoperiod.
 ! P2 Extent to which development (expressed as days) is delayed for
 ! each hour increase in photoperiod above the longest photoperiod
 ! at which development proceeds at a maximum rate (which is
 ! considered to be 12.5 hours).
 ! P5 Thermal time from silking to physiological maturity (expressed
 ! in degree days above a base temperature of 8 deg.C).
 ! G2 Maximum possible number of kernels per plant.
 ! G3 Kernel filling rate during the linear grain filling stage and
 ! under optimum conditions (mg/day).
 ! PHINT Phylochron interval; the interval in thermal time (degree days)
 ! between successive leaf tip appearances.
 !
 ! P10 Pioneer
 ! AS Asgrow (Monsanto)
 ! DK Dekalb (Monsanto)
 ! LH Holden (Monsanto)
 ! C/LOL Land of Lakes

@VAR#	VRNAME.....	EXPNO	ECO#	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT	PENT
!	!	!	!	1	2	3	4	5	6	7
PC0001	2500-2600 GDD	.	IB0001	160.0	0.750	780.0	750.0	8.50	49.00	0.8
PC0002	2600-2650 GDD	.	IB0001	185.0	0.750	850.0	800.0	8.50	49.00	0.8
PC0002	2600-2650 GDD	.	IB0001	185.0	0.750	850.0	800.0	8.50	49.00	0.8
PC0003	2650-2700 GDD	.	IB0001	212.0	0.750	850.0	800.0	8.50	49.00	0.8
PC0004	2700-2750 GDD	.	IB0001	240.0	0.750	850.0	800.0	8.50	49.00	0.8
PC0005	2750-2800 GDD	.	IB0001	260.0	0.750	850.0	800.0	8.50	49.00	0.8

*MAIZE ECOTYPE COEFFICIENTS: GECER046 MODEL

```

!
! COEFF  DEFINITIONS
! =====
! ECO#    Code for the ecotype to which a cultivar belongs (see *.cul
!         file)
! ECONAME Name of the ecotype, which is referenced from *.CUL file
! TBASE   Base temperature below which no development occurs, C
! TOPT    Temperature at which maximum development rate occurs during vegetative stages, C
! ROPT    Temperature at which maximum development rate occurs for reproductive stages, C
! P20     Daylength below which daylength does not affect development rate, hours
! DJTI    Minimum days from end of juvenile stage to tassel initiation if the cultivar
!         is not photoperiod sensitive, days
! GDDE    Growing degree days per cm seed depth required for emergence, GDD/cm
! DSGFT   GDD from silking to effective grain filling period, C
! RUE     Radiation use efficiency, g plant dry matter/MJ PAR
! KCAN    Canopy light extinction coefficient for daily PAR.
! TSEN    Critical temperature below which leaf damage occurs (default 6°C)
! CDAY    Number of cold days parameter (default 15.0 )
@ECO#    ECONAME..... TBASE TOPT ROPT  P20  DJTI  GDDE  DSGFT  RUE   KCAN  TSEN  CDAY
!         1      2      3      4      5      6      7      8      9     10    11
IB0001  GENERIC-MIDWEST1  8.0 34.0 34.0 12.5  4.0  6.0  170.  4.2  0.85
IB0002  GENERIC-MIDWEST2  8.0 34.0 34.0 12.5  4.0  6.0  170.  4.5  0.85
IB0003  GENERIC-MIDWEST3  8.0 34.0 34.0 12.5  4.0  6.0  170.  2.0  0.85
IB0004  +5%-RUE-MIDWEST1  8.0 34.0 34.0 12.5  4.0  6.0  170.  4.4  0.85

```

*MAIZE SPECIES COEFFICIENTS: MZCER046 MODEL

*TEMPERATURE EFFECTS

! TBASE TOP1 TOP2 TMAX
PRFTC 6.2 16.5 33.0 44.0 !Effect of temperature on photosynthesis
! RGFIL 5.5 16.0 29.0 37.0 !Effect of temperature on relative grain filling rate
(tolerant)
RGFIL 5.5 16.0 27.0 35.0 !Effect of temperature on relative grain filling rate
(suscept)

*PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS

PARSR 0.50 !Conversion of solar radiation to PAR
CO2X 0 220 280 330 400 490 570 750 990 9999
CO2Y 0.00 0.85 0.95 1.00 1.02 1.04 1.05 1.06 1.07 1.08

*STRESS RESPONSE

FSLFW 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% water stress, 1/day
FSLFN 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% nitrogen stress, 1/day
FSLFP 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% phosphorus stress, 1/day

*SEED GROWTH PARAMETERS

SDSZ .2750 !Maximum potential seed size, mg/sd
RSGR 0.1 !Relative seed growth rate below which plant may mature early
RSGRT 5.0 !Number of consecutive days relative seed growth rate is below RSGR that
triggers early maturity
CARBOT 7.0 !Number of consecutive days CARBO is less than .001 before plant matures
due to temperature, water or nitrogen stress
DSGT 21.0 !Maximum days from sowing to germination before seed dies.
DGET 150.0 !Growing degree days between germination and emergence after which the seed
dies due to drought
SWCG 0.02 !Minimum available soil water required for seed germination, cm3/cm3

*EMERGENCE INITIAL CONDITIONS

STMWTE 0.20 !Stem weight at emergence, g/plant
RTWTE 0.20 !Root weight at emergence, g/plant
LFWTE 0.20 !Leaf weight at emergence, g/plant
SEEDRVE 0.20 !Carbohydrate reserve in seed at emergence, g/plant
LEAFNOE 1.0 !Leaf number at emergence, #/plant
PLAE 1.0 !Leaf area at emergence, cm2/plant

*NITROGEN PARAMETERS

TMNC 0.00450 !Plant top minimum N concentration g N/g dry matter (orig)
TANCE 0.0440 !Nitrogen content in above ground biomass at emergence, g N/g dry matter
RCNP 0.01060 !Root critical nitrogen concentration, g N/g root dry weight
RANCE 0.0220 !Root N content at emergence g N/g root
CTCNP1 1.52 !Maximum value for critical tissue N concentration (in developing seed
embryo)
CTCNP2 0.160 !Coefficient for change in conc. with growth stage

*ROOT PARAMETERS

PORM 0.05 !Minimum volume required for supplying oxygen to roots for optimum growth
(1-1.0)
RWMX 0.03 !Not used in ceres, but passed through AltPlant for use elsewhere
RLWR 0.98 !Root length to weight ratio (cm/g * 1E-4)
RWUEP1 1.50

*PLANT COMPOSITION VALUES

PLIGLF 0.070 !Leaf lignin fraction
PLIGST 0.070 !Stem lignin fraction
PLIGRT 0.070 !Root lignin fraction
PLIGSH 0.280 !Shell lignin fraction
PLIGSD 0.020 !Seed lignin fraction

*PHOSPHORUS CONTENT (g [P]/g [shoot])

0.0070 0.0025 0.0020 Optimum Shoot Conc (emerg, End L. Growth, p. mat)
-99.0 -99.0 -99.0 Optimum Leaf Conc (" " ")
-99.0 -99.0 -99.0 Optimum Stem Conc (" " ")
.00041 .00041 .00041 Optimum Root Conc (" " ")

0.0050	0.0050	0.0005	Optimum Shell Conc ("	"	")
0.0035	0.0035	0.0035	Optimum Seed Conc ("	"	")
0.0040	0.0015	0.0010	Minimum Shoot Conc (emerg, End L. Growth, p. mat)				
-99.0	-99.0	-99.0	Minimum Leaf Conc ("	"	")
-99.0	-99.0	-99.0	Minimum Stem Conc ("	"	")
.00020	.00020	.00020	Minimum Root Conc ("	"	")
0.0025	0.0025	.00025	Minimum Shell Conc ("	"	")
.00175	.00175	.00175	Minimum Seed Conc ("	"	")
25.0	15.0	9.3	Maximum Veg N:P ratio (emergence, eff. grain fill, phys. mat)				
4.2	2.7	2.1	Minimum Veg N:P ratio (emergence, eff. grain fill, phys. mat)				
0.80	1.00		SRATPHOTO, SRATPART				
0.10			FracPMobil - max fraction of P which can be mobilized from leaf & stem / day				
0.0028			ROOTRAD - radius of cylinder around roots from which soil P can be extracted				

(m)

!At emergence and end of leaf growth:

!Optimum shoot P concentration (%) = 0.684 - 0.108X (Jones, 1983)

!At physiological maturity:

!Optimum shoot P concentration (%) = 0.238 - 0.0056X (Jones, 1983)

!Where:

!X is the growth stage.

!Emergence was defined as growth stage 0 (X = 0), end of leaf growth as growth stage 4, and

!physiological maturity as growth stage 10 (Jones, 1983). Minimum shoot P concentration was

!taken as 60% of the estimated optimum (Daroub et al., 2003).

APÊNDICE C – ARQUIVOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DO NWHEAT

A seguir, são apresentados os arquivos que formam a entrada de dados dos modelos utilizados nas simulações com o NWheat e com o novo modelo de fenologia. São apresentados três arquivos, o primeiro, denominado de WHAPS046.CUL, apresenta dados sobre coeficientes da cultivar, o segundo arquivo, denominado de WHAPS046.ECO, apresenta coeficientes de espécies e o terceiro arquivo, denominado de WHAPS046.SPE, apresenta dados da espécie. Ambos os arquivos foram extraídos da plataforma DSSAT [41].

```

*NWHEAT CULTIVAR COEFFICIENTS: WHAPS046 MODEL
!
!***** NWheat transition Cultivar Coefficient File *****
!
!(Comments Here)
!
! COEFF      DEFINITIONS
! =====
! VAR#       Identification code or number for a specific cultivar
! VAR-NAME   Name of cultivar
! EXPNO     Number of experiments used to estimate cultivar parameters
! ECO#      Ecotype code of this cultivar, points to the Ecotype in the
!           ECO file (currently not used).
!
! VSEN      sensitivity to vernalisation
! PPSEN     sensitivity to photoperiod
! P1        Thermal time from seedling emergence to the end of the juvenile phase
! P5        Thermal time (base 0oC) from beginning of grainfill to maturity: range 500 to
700
! PHINT     Phyllochron interval
! GRNO      Coefficient of kernel number per stem weight at the beginning of grain filling
[kernels (g stem)-1]
! MXFIL     Potential kernel growth rate [mg kernel-1 day-1]: Values between 1.0 and 3.0
! STMMX     Potential final dry weight of a single tiller (excluding grain) (g stem-1) values
1.0 - 3.0
! SLAP1     ratio of leaf area to mass at emergence (cm2/g)
! SLAP2     ratio of leaf area to mass at end of leaf growth (cm2/g)
! TC1P1     for calculating tc1: tiller number from emerg. to term. spik.(=stem elongation)
! TC1P2     tc1 = tc1_p1 + tc1_p2 *cumph_nw(istage)
! DTNP1     for calculating dtiln: tiller number after term. spik.(=stem elongation)
! PLGP1     for calculating plag: potential leaf growth. plag=
plag_p1*cumph(istage)**plag_p2
! PLGP2     for calculating plag: potential leaf growth. plag=
plag_p1*cumph(istage)**plag_p2
! P2AF     threshold AD in a layer becoming effective on root growth
! P3AF     length of downwards root not effected under aeration deficit
! P4AF     days to be accumulated before aeration deficit effects root growth
! P5AF     power term at af1
! P6AF     days to be accumulated before aeration deficit effects crop growth
! ADLAI     threshold aeration deficit (AF2) affecting LAI (set to 1.0 for no stress
run)
! ADTIL     threshold aeration deficit (AF2) effecting tillering (set to 1.0 for no stress
run)
! ADPHO     threshold aeration deficit (AF2) effecting photosyn. (set to 1.0 for no stress
run)
! STEMN     0=original C to grain translocation, >0 to 1.0 sets % of C of stem to be
transloc. to grain
! MXNUP     max N uptake per day
! MXNCR     0.035=20%, .04=23% protein, max n:c ratio of grain growth
! WFNU     power term for water effect on N supply
! PNUPR     potential uptake rate (mg/meter/day)
! EXNO3     exponent for NO3 supply factor
! MNN03     minimum for NO3 supply factor
! EXNH4     exponent for NH4 supply factor
! MNNH4     minimum for NH4 supply factor
! INGWT     initial grain weight (mg/grain?)
! INGNC     % protein, initial grain N conc (init_grain_nconc or p_init_grain_nconc from
APSIM Nwheat)
! FREAR     fraction between end ear and begin grainfilling, setting min stem weight for
remobilisation
! MNNCR     % protein, min n:c ratio of grain growth
! GPPSS     gpp_start_stage - Grain per plant: 2=stem elong., 3=end leaf stage at which to
start accumo. stem for gpp calc.
! GPPES     gpp_end_stage - Start grainfilling stage at which to end accumulation stem for
Grain per plant calc
! MXGWT     maximum kernal weight [100 = no effect]
! MNRRTN     min root n due to grain n initialisation [0 = off] (root_n_min or p_root_n_min
from APSIM Nwheat)

```

```

! NOMOB      fraction of accum stem weight that is not mobile [0 = original]
! RTDP1      sw effect, 0 = old version
! RTDP2      crop stress effect, 0 = old version
!

```

```

!
10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25
26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41
42  43

```

```

@VAR#  VRNAME..... EXPNO  ECO#  VSEN  PPSEN   P1   P5  PHINT  GRNO  MXFIL  STMMX  SLAP1
SLAP2  TC1P1  TC1P2  DTNP1  PLGP1  PLGP2  P2AF  P3AF  P4AF  P5AF  P6AF  ADLAI  ADTIL  ADPHO  STEMN  MXNUP
MXNCR  WFNU  PNUPR  EXN03  MNN03  EXNH4  MNH4  INGWT  INGNC  FREAR  MNCR  GPPSS  GPPES  MXGWT  MNRTN  NOMOB
RTDP1  RTDP2
IB0001  YECORA      .  IB0001  1.00  1.20  400.0  600.0  120.0  24.0  1.90  3.00  400.0
300.0  2.50  0.60  0.005  1400.  0.60  0.60  50.0  3.00  1.00  3.00  1.00  1.00  1.00  0.00  0.60
0.040  2.00  0.450  6.75  0.00  6.50  0.00  3.50  0.030  0.250  1.230  2.00  5.00  55.0  4.50  0.250
1      1
IB0002  ARMINDA     .  IB0001  4.00  4.50  400.0  640.0  100.0  32.0  2.50  3.00  280.0
270.0  2.50  0.60  0.005  1400.  0.60  0.10  50.0  3.00  3.00  3.00  1.00  1.00  1.00  0.00  0.60
0.040  2.00  0.450  6.75  0.00  6.50  0.00  3.50  0.030  0.250  1.230  2.00  5.00  55.0  4.50  0.250
1      1
IB0003  Lely         .  IB0001  4.00  4.50  400.0  640.0  100.0  32.0  2.50  1.00  280.0
270.0  2.50  0.60  0.005  1400.  0.60  0.60  50.0  3.00  3.00  3.00  1.00  1.00  1.00  0.00  0.60
0.040  2.00  0.450  6.75  0.00  6.50  0.00  3.50  0.030  0.250  1.230  2.00  5.00  55.0  4.50  0.250
1      1

```

*WHEAT ECOTYPE COEFFICIENTS: WHAPS046 MODEL

!	13	14	15	16	17	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
@ECO#	ECONAME.....	TBASE	TOPT	ROPT	TTOP	P20	VREQ	GDDE	DSGFT	RUE	KCAN						
IB0001	GENERICMEXICAN	0.0	26.0	26.0	34.0	12.5	50.	10.2	200.	4.2	0.85						
IB0002	GENERIC	1.0	34.0	34.0	34.0	12.5	70.	6.0	170.	4.5	0.85						
IB0003	GENERIC	0.0	34.0	34.0	34.0	12.5	50.	6.0	170.	2.2	0.85						
DFAULT	DEFAULT	0.0	34.0	34.0	34.0	12.5	50.	6.0	170.	4.2	0.85						

!chp added this for test of optional temperature input for cold damage
 IB0099 Cold Hardy (test) 0.0 26.0 26.0 34.0 12.5 50. 6.0 170. 4.2 0.85 0.5
 20
 IB0098 Cold Sens. (test) 0.0 26.0 26.0 34.0 12.5 50. 6.0 170. 4.2 0.85 10.0
 5

- !TBASE - base temperature below which no development occurs, C
- !TOPT - temperature at which maximum development rate occurs during vegetative stages, C
- !ROPT - temperature at which maximum development rate occurs for reproductive stages, C (no effect, WHAPS)
- !TTOP - temperature above which no development occurs, C
- !P20 - Daylength below which daylength does not affect development rate, hours (no effect, WHAPS)
- !VREQ - Vernalization required for max.development rate (VDays)
- !GDDE - Growing degree days per cm seed depth required for emergence, GDD/cm
- !DSGFT - GDD from End Ear Growth to Start Grain Filling period, C
- !RUE - Radiation use efficiency, g plant dry matter/MJ PAR (no effect, WHAPS)
- !KCAN - Canopy light extinction coefficient for daily PAR. (no effect, WHAPS)
- !TSEN - Critical temperature below which leaf damage occurs (default 6°C)

I*WHEAT SPECIES COEFFICIENTS: WHAPS046 MODEL

*TEMPERATURE EFFECTS

```

!      T1  T2  T3  T4
SENST -10. 32. 34. 50.    !Temperature thersholds which affect senescense for leaf;
!      F1  F2  F3  F4
SENSF  1.  1.  1.5 5.5    !Factor of leaf senescense rate
!      T1  T2  T3  T4
!Factors of leaf scenecence were 1.,1.,3.1,11.1, but reduced by half on 10 Dec. 2014 as
Senthold suggested that these values are too much.
GTMAX -50. 30. 40. 60.    !Tmax thersholds used for effect of grain number; maximum
temepature values used for interpolation of effects
GRDUH  0.  0.  0.  0.    !Tmax effect on grain number; to TURN-ON set values to 0. 0.
-50. -50. and to TURN-OFF set all values to zero
GTMIN -50. -1.  2. 50.    !Tmin thresholds used for effect of grain number
GRDUL  0.  0.  0.  0.    !Tmin effect for grain number; to TURN-ON set values to -50.
-50. 0. 0. and to TURN-OFF set all values to zero
DTTPT 20.  80. 120.    !Sum of thermal temepatures (DTT) point to set up DTT
factor of Temperature effect of the Grain #; DTT are from end of ear development.
DTTF  0.  0.  0.    !DTT factor as function of DTT points; to turn-on set values
to 0. 1. 0. and to turn-off set all values to zero
!Note GRDUH,GRDUL and DTTF should be turned-on and turned-off together to get the effect of
temepature on garin number
VPD  0.  1.  7.  8.    !vapor pressure deficit used in canopy temperature effect,
VPD values of refernce for interpolation
VPDF  0.  0.  0.  0.    !vapor pressure deficit effect used in canopy temperature
effect;these are values used to modify the effect of VPD on canop temepature effect
! To turn-on VPDF, set values to 0., .3, 1., 1.,and to turn-off, set all values to 0.
! when we set values of vpdf to 0, then caopy temepature is euqal to the maximum air
temepature and henece there will be no cooling effect
! To see the effect of canopy temepature with out vpdf effect, set the values of vpdf all to
1.
TCSLP -12.0    !Canopy temperature modification slop; to turn-off just
comment on this line and to turn-on remove the comment
! TCSLP 0.0    !Turn off Canopy temperature modification slop; when TCSLP
is turn-on comment this line and when TCSLP is turn-off, remove the comment from this line
TCINT 6.0    !Canopy temperature modification intercept; To turn-off,
comment this line and to turn-on remove comment from this line
! TCINT 0.0    !Turn off Canopy temperature modification intercept; no
comment on this line means the TCINT is turn-on and visa-vis
TTHLD -50.0    ! Minimum temperature (Tmin) threshold for frost effect
(frost effect starts when Tmin<=-5)
! To turn-on frost effect set the TTHLD to -5 or below -5 depending on your Tmin threshold you
are interested in to see the effect
! To tun-off frost effect, set the TTHLD to a value beyound the range of minimum Tmin (e.g.-30
oC)
FRSTF 0.1    ! Frost Factor's factor- a factor for 10% leaf frosted for
each 0C dcrease in minimum temeperture
! TBASE 0.    ! Base temperature below which no development occurs, C
CRWNT .02    ! crown temperature
SNOW 0    ! Switch for snow effect of frost (0=switch off; 1=swich-on)
! Canopy temepature effect and vpdf effect need to be turned on and off together because the
purpose of vpdf is to moderate the canopy temepature effect
!!Note: for temepature effect on leaf senescence; the orginal option is with (T, F)
combinations of ((-10, 1) ; (34 , 1); (34.1, 3) and (50, 11)).
! For no heat stress on leaf scenescence, set the values of F1..F4 to 1 and to use different
threshold, change T2; e.g. if we use 32 for T2 which means we set the heat stress threshold at
32 0C

```

*PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS

```

PARSR 0.50    !Conversion of solar radiation to PAR
CO2X  0  220  280  330  400  490  570  750  990  9999
CO2Y  0.00  0.85  0.95  1.00  1.02  1.04  1.05  1.06  1.07  1.08

```

!Note: Photosynthesis response to CO2 for C-4 maize, sorghum, millet is reduced from prior.
!Above 2 lines re-done by K. J. Boote, based on USDA-ARS SAP4.3, 2008, see Tables 2.6 and 2.7
!and cited references, summarizing a 4% grain yield/biomass increase for doubling of CO2.
!Maize model now gives 4.59 & 4.24% grain yield increase from 330-660 or 350-700, respectively,

and
!1.17% from 380 to 440 (SAP4.3 cites 1%). Biomass increase is 3.23 & 2.93%, respectively &
0.88%.
!Sensitivity for 5 irrigated/non-stressed maize experiments (UFGA, FLSC, IBWA, SIAZ, and IUAF).
!The ET is reduced 12.74 & 13.50% from 330 to 660, and T reduced 17.08 & 18.12% from 350 to
700ppm.
!Function based on stomatal resistance method of Allen et al. CO2 effect on ET and T are good
and
!did not need to be changed.

*APCO2 APSIM CO2 PARAMETERS

TEFAC 1 ! Switch for transpiration effect coeff; turn-on = 1 and turn-off = 0 ! Use
turn-on for all simulations
RUEFAC 1 ! switch for RUE Factor; turn-on = 1 and turn off = 0 !Use turn-on for all
simulations

!Note: the above switch for TEFAC and RUEFAC mean that 1 is switch on and 0 is swich off.
!When we switch-off the effect of CO2 it mean that the TEFAC will set to a value of 0.006 and
RUE to 1

*STRESS RESPONSE

FSLFW 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% water stress, 1/day
FSLFN 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% nitrogen stress, 1/day
FSLFP 0.050 !Fraction of leaf area senesced under 100% phosphorus stress, 1/day

*SEED GROWTH PARAMETERS

SDSZ .2750 !Maximum potential seed size, mg/sd
RSGR 0.1 !Relative seed growth rate below which plant may mature early
RSGRT 5.0 !Number of consecutive days relative seed growth rate is below RSGR that
triggers early maturity
CARBOT 7.0 !Number of consecutive days CARBO is less than .001 before plant matures
due to temperature, water or nitrogen stress
DSGT 21.0 !Maximum days from sowing to germination before seed dies.
DGET 150.0 !Growing degree days between germination and emergence after which the seed
dies due to drought
SWCG 0.02 !Minimum available soil water required for seed germination, cm3/cm3

*EMERGENCE INITIAL CONDITIONS

STMWTE 0.20 !Stem weight at emergence, g/plant
RTWTE 0.20 !Root weight at emergence, g/plant
LFWTE 0.0023 !Leaf weight at emergence, g/plant ! revised for nwheat
SEEDRVE 0.20 !Carbohydrate reserve in seed at emergence, g/plant
LEAFNOE 1.0 !Leaf number at emergence, #/plant
PLAE 1.0 !Leaf area at emergence, cm2/plant

*NITROGEN PARAMETERS

TMNC 0.00450 !Plant top minimum N concentration g N/g dry matter
TANCE 0.0440 !Nitrogen content in above ground biomass at emergence, g N/g dry matter
RCNP 0.01060 !Root critical nitrogen concentration, g N/g root dry weight
RANCE 0.0220 !Root N content at emergence g N/g root
!04/19/2007 US/CHP added optional coefficients, CTCNP1 and CTCNP2
! TCNP = EXP (CTCNP1 - CTCNP2 * XSTAGE) / 100.0 in MZ_GROSUB
CTCNP1 1.52 !Maximum value for critical tissue N concentration (in developing seed
embryo)
CTCNP2 0.160 !Coefficient for change in conc. with growth stage

*ROOT PARAMETERS

PORM 0.05 !Minimum volume required for supplying oxygen to roots for optimum growth
(1-1.0)
RWMX 0.03 !Not used in ceres, but passed through AltPlant for use elsewhere
RLWR 0.98 !Root length to weight ratio (cm/g * 1E-4)
RWUEP1 1.50
istage emerge endjuv endveg endear grnfil mature fallow sowing germ ! Reference only:
istage
stage# 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ! names-to-numbers set
in ModuleDefs

rootfr 0.3 0.2 0.15 0.10 0.08 0.0 0.0 0.0 0.0 ! Modify this line only

*AERATION DEFICIT PARAMETERS (NWHEAT roots)

p_fdsw 0.0 0.5 1.0 ! fraction of drainable soil water in layer
p_adf 1.0 1.0 0.0 ! aeration deficit (1 = no stress)
p_stag 1.0 5.0 ! istage (growth stage): emerg.- grain fill
p_afs 0.0 1.0 ! crop sensitivity to aeration deficit, as a funct of phenol
(1 = aeration deficit tolerant crop)

*GROWTH STAGE (can these be combined?)

istageno 1.0 2.0 3.0 4.0 4.4 5.0 6.0 ! From Nwheats real function
nwheats_dc_code
dc_code 10.0 30.0 43.0 59.0 65.0 70.0 90.0 ! DC code
xs 1.0 1.5 2.7 3.3 4.1 6.0 ! From Nwheats subroutine
nwheats_set_zstag
zs 1.0 2.0 4.0 5.0 6.0 9.0 ! Zadok's growth stage

*PLANT COMPOSITION VALUES

PLIGLF 0.070 !Leaf lignin fraction
PLIGST 0.070 !Stem lignin fraction
PLIGRT 0.070 !Root lignin fraction
PLIGSH 0.280 !Shell lignin fraction
PLIGSD 0.020 !Seed lignin fraction

*PHOSPHORUS CONTENT (g [P]/g [shoot])

0.0070 0.0025 0.0020 Optimum Shoot Conc (emerg, End L. Growth, p. mat)
-99.0 -99.0 -99.0 Optimum Leaf Conc (" " ")
-99.0 -99.0 -99.0 Optimum Stem Conc (" " ")
.00041 .00041 .00041 Optimum Root Conc (" " ")
0.0050 0.0050 0.0005 Optimum Shell Conc (" " ")
0.0035 0.0035 0.0035 Optimum Seed Conc (" " ")

0.0040 0.0015 0.0010 Minimum Shoot Conc (emerg, End L. Growth, p. mat)
-99.0 -99.0 -99.0 Minimum Leaf Conc (" " ")
-99.0 -99.0 -99.0 Minimum Stem Conc (" " ")
.00020 .00020 .00020 Minimum Root Conc (" " ")
0.0025 0.0025 .00025 Minimum Shell Conc (" " ")
.00175 .00175 .00175 Minimum Seed Conc (" " ")

25.0 15.0 9.3 Maximum Veg N:P ratio (emergence, eff. grain fill, phys. mat)
4.2 2.7 2.1 Minimum Veg N:P ratio (emergence, eff. grain fill, phys. mat)

0.80 1.00 SRATPHOTO, SRATPART
0.10 FracPMobil - max fraction of P which can be mobilized from leaf & stem / day
! 4/10/2008 CHP removed FracPUptake, which was not being used. Added new variable ROOTRAD.
! 0.80 FracPUptake - Maximum fraction of available P which can be taken up / day
0.0028 ROOTRAD - radius of cylinder around roots from which soil P can be extracted
(m)

!At emergence and end of leaf growth:

!Optimum shoot P concentration (%) = $0.684 - 0.108X$ (Jones, 1983)

!At physiological maturity:

!Optimum shoot P concentration (%) = $0.238 - 0.0056X$ (Jones, 1983)

!Where:

!X is the growth stage.

!Emergence was defined as growth stage 0 ($X = 0$), end of leaf growth as growth stage 4, and

!physiological maturity as growth stage 10 (Jones, 1983). Minimum shoot P concentration was

!taken as 60% of the estimated optimum (Daroub et al., 2003).