

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

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO EM
CULTIVARES CRIOULAS E MELHORADAS DE
MILHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Josana Andreia Langner

Santa Maria, RS, Brasil.

2015

**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO EM CULTIVARES
CRIOULAS E MELHORADAS DE MILHO**

Josana Andreia Langner

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM- RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil.

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Langner, Josana Andreia

Modelagem do desenvolvimento em cultivares crioulas e melhoradas de milho / Josana Andreia Langner.-2015.

86 p.; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Desenvolvimento vegetativo 2. Fenologia 3. Simulação 4. Zea mays I. Streck, Nereu Augusto II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**


A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

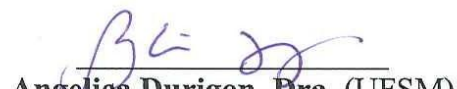
**MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO EM CULTIVARES
CRIOULAS E MELHORADAS DE MILHO**

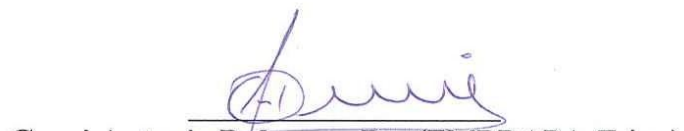
elaborada por
Josana Andreia Langner

Com requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:


Nereu Augusto Streck, Ph.D.
(Presidente/Orientador)


Angelica Durigon, Dra. (UFSM)


Genei Antonio Dalmago, Dr. (EMBRAPA-Trigo)

Santa Maria, 04 de agosto de 2015.

*A prof. Lia Reineger por ser o
elo de ligação para com a
Associação Guardiões das Sementes
Crioulas de Ibarama – Rio Grande do Sul e
a eles por realizarem o trabalho de preservação
deste valioso patrimônio*
Dedico...

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do trabalho.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Nereu Augusto Streck, por toda ajuda, apoio e exemplo que tem sido durante todos estes anos.

Ao pesquisador Genei Antonio Dalmago da EMBRAPA-Trigo pela colaboração e auxílio para condução dos experimentos.

Agradecimento especial aos colegas Anderson Poersch, Lucio Scheffel e Murilo Correa pela ajuda na condução dos experimentos e coleta de dados e Stefanía da Silva pela ajuda com o modelo CERES.

Aos demais colegas do grupo de Agrometeorologia da sala 02 pela ajuda, em especial a colega desde a graduação Lilian Uhlmann por todo apoio e parceria.

As professoras Isabel Iago e Lia Reiniger pelo apoio de sempre e pelos ensinamentos compartilhados.

À minha família, por estarem presente e apoiando e por compreenderem a necessidade da distância.

Ao meu companheiro, amigo e namorado Douglas Dalla Nora por todos os companheirismos.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela colaboração e atenção sempre dispensada.

Muito obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO EM CULTIVARES CRIOULAS E MELHORADAS DE MILHO

AUTORA: JOSANA ANDREIA LANGNER

ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 04 de agosto de 2015.

O milho possui grande importância econômica e social, pois é produzido tanto em grande escala como commodity agrícola, quanto em pequenas propriedades familiares visando a subsistência. Os objetivos desta dissertação foram (i) comparar a simulação da emissão de folhas com o modelo CS-CERES-Maize (linear) e Wang e Engel – WE (não-linear) e (ii) calibrar e testar o modelo Wang e Engel para simular a fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho. As cultivares utilizadas foram duas cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ e duas melhoradas ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. Foram conduzidos experimentos de campo nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS. O delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições. A calibração dos modelos para a emissão de folhas foi realizada com dados da semeadura de 04/11/2013 para as cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’, e 13/12/2014 a ‘BRS Planalto’, e para calibrar a fenologia foram usados dados da semeadura de 13/12/2014 para todas as cultivares. A melhor estimativa do número total de folhas, tanto para cultivares crioulas como melhoradas de milho, foi obtida com o modelo Wang e Engel, que apresentou RQME de 0,9 folhas, em comparação com CSM- CERES-Maize, com RQME de 1,5 folhas. O modelo WE estimou, de forma precisa a fenologia, tanto para cultivares crioulas como melhoradas com RQME para emergência de 1,4 dias, para R1 de 4,5 dias e para R6 de 4,3 dias.

Palavras-chave: Desenvolvimento vegetativo. Fenologia. Simulação. *Zea mays*.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

MODELING THE DEVELOPMENT OF LANDRACE AND IMPROVED MAIZE CULTIVARS

AUTHOR: JOSANA ANDREIA LANGNER

ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Location and date of presentation: Santa Maria, August 04th, 2015.

Maize has high economic and social importance, because it is both produced on a large scale as well as an agricultural commodity, as well as in small family farms for subsistence. The objectives of this dissertation were (i) to compare the simulation of tip leaf number with the CSM-CERES-Maize model (linear) and the model of Wang and Engel (non-linear), and (ii) to calibrate and to test the Wang and Engel model for simulating the phenology of landraces and improved maize varieties. The cultivars used were two landrace varieties 'Cinquentinha' and 'Bico de ouro' and two improved cultivars 'BRS Planalto' and 'AS 1573PRO'. Field experiments were conducted in the 2013/2014 and 2014/2015 growing seasons at the experimental area of the Department of Plant Science of UFSM, Santa Maria, RS. The experimental design was a complete randomized block with four replications. Model calibration to simulate leaf appearance was with the data from the 11/04/2013 sowing date for cultivars 'Cinquentinha', 'Bico de ouro' and 'AS 1573PRO' and from the 12/13/2014 sowing date for 'BRS Planalto' whereas for calibrating the phenology data from the 12/13/2014 sowing date for all cultivars. The best estimate of the tip leaf number for both improved and landrace varieties of maize was with the Wang and Engel model with a root mean square error (RMSE) of 0.9 leaves compared to CSM-CERES-Maize with RMSE of 1.5 leaves. The Wang and Engel model estimated with good precision all developmental stages of the landrace and improved varieties with a RMSE for emergence of 1.4 days, 4.5 days for silking and 4.3 days for physiological maturity.

Keywords: Vegetative development. Phenology. Simulation. *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Imagem ilustrativa das espigas das cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (a) e ‘Bico de ouro’ (b), Santa Maria, RS 24
- Figura 2 – Imagem ilustrativa das espigas das cultivares melhoradas de milho ‘BRS Planalto’ (a) e ‘AS 1573PRO’ (b), Santa Maria, RS 25
- Figura 3 – Representação gráfica da resposta do desenvolvimento à temperatura do ar em milho pelo modelo linear (soma térmica) e pelo modelo não linear (Wang e Engel), considerando como $T_b = 8\text{ °C}$, $T_{ot} = 31\text{ °C}$ e $T_B = 41\text{ °C}$. Std é a soma térmica diária e $f(T)$ é a função de temperatura do modelo Wang e Engel 27

ARTIGO I

- Figura 1 – Variação diária da temperatura mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) do ar durante o Experimento 1 (a), ano agrícola 2013/2014, e o Experimento 2 (b), ano agrícola 2014/2015, em Santa Maria, RS, Brasil. As setas indicam as datas de semeadura do milho 45
- Figura 2 – Evolução do número de folhas totais (NFT) observado e simulado com o modelo CSM-CERES-Maize (CERES) e com o modelo Wang e Engel (WE) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’ (a), ‘Bico de ouro’ (b) e ‘AS 1573PRO’ (c) nas datas de semeadura 20/08/2013 e 03/02/2014. Resíduo (NFT simulado menos NFT observado) versus o NFT observado é apresentado nas inserções de cada painel 46
- Figura 3 – Evolução do número de folhas totais (NFT) observado e simulado com o modelo CSM-CERES-Maize (CERES) e com o modelo Wang e Engel (WE) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’ (a), ‘Bico de ouro’ (b), ‘BRS Planalto’ (c) e ‘AS 1573PRO’ (d), nas datas de semeadura 15/08/2014, 13/12/2014 e 06/01/2015. Resíduo (NFT simulado menos NFT observado) versus o NFT observado é apresentado nas inserções de cada painel 47
- Figura 4 – Número de folhas totais (NFT) observado versus simulado com modelo CSM-CERES-Maize (CERES) (a) e com o modelo Wang e Engel (WE) (b) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, nas cinco datas de semeadura usadas como dados independentes (20/08/2013, 03/02/2014, 15/08/2014, 13/12/2014 e 06/01/2015). A linha cheia é a linha 1:1. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias 48

ARTIGO II

- Figura 1 – Dias após a semeadura (DAS) simulado e observado da emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6), das cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’, e ‘AS 1573PRO’ nas datas de 15/08/2013, 03/02/2014, 20/08/2014 e 07/01/2015, ‘BRS Planalto’ nas datas de 20/08/2014 e 07/01/2015 usando o modelo Wang e Engel, Santa Maria, RS, Brasil. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias. EM: símbolos vazados, R1: símbolos preenchidos em preto e R6: símbolos preenchidos em cinza..... 63

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1 – Valores dos coeficientes filocrono e taxa de aparecimento de folhas máxima (TAFmax) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. Os valores entre parênteses são um desvio padrão da média.....49
- Tabela 2 – Valores das estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), raiz do quadrado médio do erro normalizado (RQMENR), coeficiente de correlação de Pearson (r), e índice BIAS (Bias) utilizadas na avaliação dos modelos de CSM-CERES-Maize (CERES) e Wang e Wengel (WE) para a simulação da emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’, no ano agrícola 2013/2014 (Experimento 1) e ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ no ano agrícola 2014/2015 (Experimento 2)50

ARTIGO II

- Tabela 1 – Valores dos coeficientes de taxa máxima de desenvolvimento das fases de semeadura-emergência ($r_{\max,e}$), emergência-espigamento ($r_{\max,v}$) e espigamento-maturidade fisiológica ($r_{\max,r}$) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. Os valores entre parênteses são um desvio padrão da média64
- Tabela 2 – Raiz do quadrado médio do erro da simulação com o modelo Wang e Engel para emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, Santa Maria, RS, Brasil65

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável TAFmax (folhas dia ⁻¹) e filocrono (°C dia folha ⁻¹) para a emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’..	80
Anexo B – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável TAFmax (folhas dia ⁻¹) e filocrono (°C dia folha ⁻¹) para a emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’	81
Anexo C – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max,e}$ (dia) para a fase semeadura-emergência das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’	82
Anexo D – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max,v}$ (dia) para a fase emergência-espigamento das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’	83
Anexo E – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max,r}$ (dia) para a fase espigamento-maturidade fisiológica das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS1573PRO’	84

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Simulado e observado em dias após a semeadura (DAS) para a fase de emergência (a), florescimento feminino (b) e maturidade fisiológica (c), para as cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’ nas datas de 15/08/2013, 03/02/2014, 20/08/2014 e 07/01/2015, ‘BRS Planalto’ nas datas de 20/08/2014 e 07/01/2015 usando o modelo Wang e Engel, Santa Maria, RS, Brasil. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias	86
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES

CERES	– Modelo CSM-CERES-Maize
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
DISME	– Distrito de Meteorologia
EM	– Emergência
EMATER	– Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
f(T)	– Função de resposta à temperatura do ar
FILO	– Coeficiente do modelo linear ou modelo filocrono
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
MAPA	– Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NFT	– Número de Folhas Totais
PRNT	– Poder Real de Neutralização do Total
r	– Coeficiente de correlação de Pearson
R1	– Espigamento
R6	– Maturidade fisiológica
r_{\max}	– Taxa máxima de desenvolvimento diário
RQME	– Raiz do quadrado médio do erro
RQMEN	– Raiz do quadrado médio do erro normalizado
ST	– Soma térmica
STa	– Soma térmica acumulada
STd	– Soma térmica diária
T	– Temperatura média diária do ar
TAF	– Taxa de aparecimento de folhas
TAFmax	– Taxa diária máxima aparecimento de folhas
TB	– Temperatura cardinal máxima
Tb	– Temperatura cardinal mínima
Tot	– Temperatura cardinal ótima
USDA	– Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
WE	– Modelo de Wang e Engel

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Panorama agroeconômico da cultura do milho	18
2.2 Origem, botânica e morfologia do milho	19
2.3 Ecofisiologia da cultura do milho.....	21
2.4 Cultivares de milho: locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs) e melhoradas.....	22
2.5 Desenvolvimento vegetal	25
2.6 Simulação do desenvolvimento vegetal: modelos lineares e não lineares.....	26
3. ARTIGO 1	29
Resumo	29
Abstract	30
Introdução	30
Material e métodos	32
Resultados e discussão.....	37
Conclusões	40
Referências	41
4. ARTIGO 2.....	51
Resumo	51
Abstract	51
Introdução	52
Material e métodos	54
Resultados e discussão.....	57
Conclusão	60
Referências	60
5. DISCUSÃO	67
6. CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	79
APÊNDICE	85

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma planta cuja origem acredita-se que ocorreu no México e que posteriormente foi difundido por povos pré-colombianos para os demais continentes (ZARRILLO et al., 2008; TEIXEIRA, 2008). Sua dispersão pelas Américas ocorreu devido ao grande número de modificações adaptativas que sofreu, fazendo com que hoje seja uma cultura com ampla variabilidade genética (BRIEGER et al., 1958). É cultivado nas mais diferentes condições ambientais, que compreendem desde o nível do mar até 3.800 m de altitude, desde a latitude de 59 ° N até 40 ° S (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1988).

O cultivo do milho desempenha importante papel econômico e social, pois é uma das principais culturas cultivadas no mundo, devido a sua multiplicidade de utilizações, desde a alimentação humana e animal, fabricação de bioprodutos até o uso na produção de biocombustíveis (FERREIRA JÚNIOR et al., 2014). Possui grande versatilidade, podendo ser cultivado em sistemas de manejo com maior nível tecnológico, caracterizados pelo uso de irrigação, pelo controle adequado de pragas e doenças, e pela maior aplicação de fertilizantes (ARGENTA et al., 2003), como também em sistemas produtivos que empregam médio a baixo investimento tecnológico, com menor uso de insumos, e mesmo assim se obtém produtividades rentáveis (SANDRI; TOFANELLI, 2008).

No cultivo de milho são utilizados principalmente dois tipos de cultivares: as variedades de polinização aberta (VPA) e as melhoradas, que incluem, além das VPAs, também híbridos (MORRIS et al., 2003), que podem ser simples, simples modificados, duplos e triplos (SANGOI et al., 2006). As sementes das VPAs que estão sob domínio dos agricultores, na maioria das vezes são agrupadas em uma ampla categoria denominada “crioulas”, devido à inexistência de estudos acerca de sua real natureza, se é uma cultivar local ou tradicional. Essas formam as CLTCs: cultivares locais, tradicionais ou crioulas. As CLTCs mesmo sendo menos produtivas que as comerciais são caracterizadas por possuírem alta variabilidade genética, sendo por isso consideradas importante fonte de genes na busca por tolerância e/ou resistências aos fatores bióticos e abióticos (ARAÚJO; NASS, 2002). As cultivares melhoradas são aquelas desenvolvidas ou selecionadas por programas de melhoramento através de métodos que são considerados científicos, para a planta produzir características desejadas, como alta resposta aos fertilizantes e alta produtividade (MACHADO et al., 2008). Essas cultivares comerciais apresentam maior potencial produtivo e maior uniformidade morfológica e fenológica que facilitam o manejo da cultura

(FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000), mas em geral suas sementes são de alto valor agregado, ficando difícil o acesso destas pelos pequenos agricultores (RAPOSO, 2002), e também exigem alto investimento em insumos.

Um parâmetro do desenvolvimento das plantas é a emissão de folhas, que ocorre durante parte do ciclo de desenvolvimento em culturas anuais, que pode ser determinada através da velocidade ou taxa de emissão de folhas (TAF), quando a TAF é integrada no tempo fornece o número de folhas visíveis (STRECK et al., 2003; STRECK et al., 2009b). Em milho o número de folhas está relacionado com o surgimento dos estágios vegetativos do desenvolvimento (STRECK et al., 2009a). O ciclo de desenvolvimento da cultura do milho tem sido dividido em vegetativo (V) e reprodutivo (R) (RITCHIE et al., 1993). O conhecimento dos estágios de desenvolvimento é fundamental para caracterizar as necessidades e sensibilidades da cultura visando estabelecer de forma correta relações com as condições do ambiente, conhecer os períodos críticos da cultura e classificar os genótipos segundo sua precocidade (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

A modelagem é uma ferramenta potencialmente útil para aplicação em diversas esferas, como no ensino, pesquisa e extensão, setores envolvidos com o planejamento, tomadas de decisão e desenvolvimento de tecnologias e políticas para o setor agrícola.

No ensino e na pesquisa, o uso de modelos possibilita aliar, e em algumas situações substituir experimentos de campo, realizando estudos com maior número de variáveis em menor tempo; análise da interação genótipo *versus* ambiente que resulte em melhor produtividade; análise de estratégias para um amplo período de tempo, como avaliar o impacto das projeções climáticas; possibilita qualificação profissional e transferência de tecnologias (HOOGENBOOM, 2000; MATHEWS et al., 2000; ANDRADE et al., 2009). Na extensão, no planejamento e em tomadas de decisão, proporciona análise de estratégias para o setor agrícola. Permite avaliar a produção agrícola em diferentes cenários, como em anos de possível ocorrência de déficit ou excesso hídrico e em cenários de mudança climática. Permite avaliar de forma rápida e precisa o impacto de uma nova tecnologia para diferentes regiões agrícolas e possíveis adaptações necessárias para cada local. Essas informações podem ser usadas para criação de políticas específicas para cada situação, tanto em nível de propriedade pelo produtor ou técnico extensionistas, quanto de governo (HOOGENBOOM, 2000).

Existem diversos modelos disponíveis na literatura, desde aqueles que descrevem processos complexos das plantas, como o rendimento e o crescimento, e também aqueles que simulam os processos básicos da planta ou o desenvolvimento (emissão de folhas e fenologia). A temperatura do ar é a principal variável meteorológica que influencia o

desenvolvimento do milho (STRECK et al., 2008; 2009b). A influência dessa variável meteorológica sobre a emissão de folhas e a fenologia pode ser representada tanto por modelos lineares que usam o conceito de soma térmica (GILMORE; ROGERS, 1958; ARNOLD, 1960) quanto por modelos não lineares que empregam funções multiplicativas, como o de Wang e Engel (WANG; ENGEL, 1998). A calibração desses modelos pode ser considerado o primeiro passo em estudo com modelagem para a cultura de interesse, são modelos que exigem menor número de variáveis, o que possibilita atingir maior número de usuários, e que são eficazes para descrever esses processos.

Depois de calibrados e testados em diferentes condições ambientais, os modelos agrícolas podem ser usados em estudos de resposta da emissão de folhas e duração dos estágios das plantas em distintas condições ambientais, como em diversas datas de semeadura e para cultivares de milho com diferente variabilidade genética. Assim, os objetivos desta dissertação foram (i) comparar a simulação da emissão de folhas com o modelo CSM-CERES-Maize (linear) e Wang e Engel – WE (não linear), e (ii) calibrar e testar o modelo Wang e Engel para simular a fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho nas condições ambientais de Santa Maria, RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama agroeconômico da cultura do milho

O milho (*Zea mays*) é uma das principais culturas de importância econômica mundial e se classifica como o grão mais produzido no mundo com previsão para a safra de 2014/15 de produzir aproximadamente 986,7 milhões de toneladas (USDA, 2015). Os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar no ranking mundial, com projeção para produzir na safra 2014/2015 aproximadamente 365,5 milhões de toneladas, o segundo maior produtor mundial é a China com estimativa de produzir 217,0 milhões de toneladas (USDA, 2015). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial deste cereal com estimativa para produzir na safra 2014/2015 cerca de 78,9 milhões de toneladas (CONAB, 2015).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2013) tendo como base dados do Censo Agropecuário de 2006, no Brasil cerca de 84% dos estabelecimentos rurais pertencem a agricultores familiares que ocupam uma área de 80 milhões de hectares e a produção de milho oriunda desses estabelecimentos corresponde a 46% do total produzido no país. A primeira finalidade do cultivo do grão é para atender as necessidades dos brasileiros, mas o principal destino da safra são as indústrias de rações para animais (MAPA, 2010), principalmente na cadeia produtiva de suínos e aves, que consomem entre 70 e 80 % do milho produzido no Brasil e, também, na cadeia bovina, principalmente na produção de silagem (GARCIA et al., 2006).

Dentre os Estados brasileiros o maior produtor nacional é o Mato Grosso com projeção de 18,2 milhões de toneladas, seguido pelo Paraná com 14,6 milhões de toneladas para a safra 2014/15 (CONAB, 2015). No Rio Grande do Sul (RS) o milho é produzido em todos os municípios (EMATER, 2012), sendo que nessa temporada consolidou sua posição como principal produtor nacional do milho na primeira safra (CONAB, 2015). Segundo dados da mesma instituição o RS vem registrando excelentes níveis de produtividade, chegando a 6,3 toneladas/ha, rompendo paradigmas de que o Estado não dispunha de solos e condições climáticas que garantissem elevados rendimentos, contribuindo com 5,9 milhões de toneladas para a produção nacional.

A diversidade socioambiental e riqueza étnica dos espaços agrícolas sul-rio-grandenses baseados em grande parte na forma de produção familiar, com propriedades que

possuem em média 20 hectares, faz com que exista grande potencial para à manutenção de recursos genéticos (DUTRA, 2005). A manutenção desses recursos é realizada através de bancos de sementes e mudas, com dedicação à produção de sementes tradicionais por alguns agricultores (VERDUM et al., 2004; DUTRA, 2005).

Exemplo de preservação e manutenção de sementes tradicionais de milho acontece na região Centro Serra do RS, onde o município de Ibarama se destaca na produção e conservação de sementes de cultivares crioulas de milho. A área total semeada é de 3,5 mil ha, cultivados em cerca de mil estabelecimentos rurais. A área utilizada com sementes de cultivares crioulas, no referido município, atinge em torno de 1,4 mil ha, sendo cultivada por, aproximadamente, 650 famílias rurais (BARCHET et al., 2007). O município que anteriormente utilizava mais de 90% de cultivares híbridas de milho usa hoje menos de 50%, possuindo estoque de sementes de cultivares crioulas para trocar e comercializar com outros agricultores (BARCHET et al., 2007).

Essas mudanças quanto as cultivares ocorreram devido ações realizadas por técnicos de extensão rural, que iniciaram as atividades com seleção e multiplicação de sementes nas comunidades rurais, visando com que os próprios agricultores atuassem como difusores e multiplicadores das sementes crioulas. Com o crescimento do envolvimento pela comunidade, foi organizado o Dia da Troca de Sementes Crioulas, e também foi criado o grupo dos Guardiões das Sementes Crioulas do município (BARCHET et al., 2007). A sensibilização dos agricultores surgiu dessas ações e do despertar destes para a importância das sementes de cultivares crioulas de milho, tornando consistente à iniciativa no município e aglutinando os grupos em torno do trabalho de preservação.

2.2 Origem, botânica e morfologia do milho

O milho (*Zea mays*) é uma espécie gramínea pertencente à família Poaceae cuja origem é acreditada que ocorreu no México e que posteriormente tenha se difundido por povos pré-colombianos para os demais continentes (ZARRILLO et al. 2008; TEIXEIRA, 2008). Quando Cristóvão Colombo chegou à América encontrou o milho já cultivado pelos povos nativos, e foi ele quem o levou para a Espanha, de onde se espalhou para outros países europeus, asiáticos e africanos (CONAGIN; JUNQUEIRA, 1966). É considerada uma planta com grande amplitude de adaptação sendo cultivado nas mais diferentes condições ambientais

que compreendem desde a latitude de 59 ° N até 40 ° S, desde o nível do mar até 3800 m de altitude (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1988).

Uma gama de informações botânicas e genéticas mostra que o progenitor do milho foi o teosinto (*Zea mays* ssp. *Parviglumis*), com o principal argumento de que ambos se cruzam e formam híbridos naturalmente férteis, pois possuem cromossomos muito similares (BEADLE, 1939; CAMARA, 2005). A diferença entre as inflorescências femininas do milho e do teosinto era considerada o maior ponto de divergência para explicar a familiaridade entre as espécies. O grão do teosinto é envolto em estruturas individualizadas, as glumas, que fazem com que cada grão fique individualizado na espiga, enquanto que o grão do milho fica descoberto na superfície da espiga, e em estudos mais recentes foi mostrado que este evento fundamental na domesticação do milho é controlado por um único gene regulador de transcrição (DORWEILER et al., 1993).

A inflorescência masculina no milho é encontrada na extremidade superior do caule e é do tipo panícula, a qual é formada por um eixo central que termina num ramo principal (BRIEGER; BLUMENSCHHEIN, 1966). A inflorescência feminina, ou espiga, é formada por um eixo ou ráquis (sabugo), ao longo do qual estão dispostos os alvéolos, onde se desenvolvem as espiguetas sempre aos pares, sendo que cada espiguetas é formada de duas flores, uma fértil e outra estéril. Cada flor contém um ovário, uma única cavidade que contém um único óvulo. Do ovário desenvolve-se um estigma que quando fecundado formará o grão. A proteção dos grãos é feita pelas palhas, que são folhas formadas somente por bainha, que protegem toda a espiga (BRIEGER; BLUMENSCHHEIN, 1966).

O milho é uma espécie alógama com elevada taxa de fecundação cruzada, pois apresenta monoiccia, órgão masculinos e femininos em locais separados na mesma planta, e também dicogamia, em que não há um sincronismo perfeito entre o florescimento masculino e feminino na mesma planta (SCHUSTER, 2013). É uma planta robusta e ereta, com um a quatro metros de altura, cuja parte de interesse comercial são os grãos ou sementes (MAGALHÃES et al., 2002). O grão ou semente na verdade é um tipo especial de fruto denominado cariopse (BRIEGER; BLUMENSCHHEIN, 1966).

2.3 Ecofisiologia da cultura do milho

O milho é uma cultura de ciclo anual e de estação quente que exige grande quantidade de calor para se desenvolver e reproduzir normalmente. No entanto, com a grande diversificação de tipos e variedades de milho que foram desenvolvidas, este tornou-se cultivado em diversos locais em ampla faixa de variabilidade climática. Para estabelecer relações do desenvolvimento das plantas com as condições de clima é necessário fazer a caracterização dos eventos fenológicos, identificando as necessidades e sensibilidades da espécie em cada uma das suas etapas fenológicas (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009).

Todas as plantas de milho seguem um padrão geral quanto ao seu desenvolvimento, mas os intervalos de tempo entre uma fase e outra e o número final de folhas pode variar dependendo da cultivar e das condições ambientais (RITCHIE et al., 1993). Possui uma etapa vegetativa e uma etapa reprodutiva no seu ciclo de desenvolvimento sendo uma das culturas mais abrangentes geograficamente no país (MAGALHÃES et al., 2002).

O fotoperíodo influencia no ciclo das plantas na indução ou momento de início do período reprodutivo. A espécie *Zea mays* pode ser considerada fotoneutra, sem resposta ao fotoperíodo, ou de dias curtos, dependendo do genótipo, da latitude e época de semeadura (CHANG, 1974; BERGAMASCHI; MATZANAUER, 2014). No entanto, em alguns estudos em que foram testados genótipos de diferentes ciclos em diferentes latitudes, verificou-se que a evolução da fenologia e formação de folhas foi função do soma térmica (graus-dia) sem resposta ao fotoperíodo (BIRCH et al., 2003; BERGAMASCHI; MATZANAUER, 2014).

O milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4 que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo, sendo que dentre as planta desse grupo apresenta maior eficiência de uso da radiação solar e expressa sua maior produção quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja deficiência hídrica (BERGAMASCHI et al., 2004).

O milho é uma espécie que consome grande quantidade de água durante o ciclo de desenvolvimento devido ao seu elevado rendimento de massa seca. Devido à alta sensibilidade que possui ao déficit hídrico, a cultura do milho é uma das culturas mais afetadas pela variabilidade no regime pluviométrico existente no país. O período mais crítico à falta de água compreende a fase reprodutiva e tem duração em torno de 15 dias compreendendo a polinização, fecundação e início do enchimento de grãos (MAGALHÃES

et al., 2002). A alta sensibilidade à falta de água em um período tão curto associado a grande variabilidade na distribuição das chuvas durante a estação quente faz do milho uma cultura altamente sensível à falta de água (MATZENAUER et al., 2005).

A temperatura do ar é o fator ambiental que governa o desenvolvimento e a velocidade de emissão de folhas em milho (COELHO; DALE, 1980; STRECK et al., 2009a, b). Para o desenvolvimento, assim como para os demais processos da planta de milho, as temperaturas cardinais que os governam são diferentes. Em recente revisão de literatura publicada sobre o assunto, SÁNCHEZ et al. (2014) reuniram trabalhos de todo o mundo com pesquisas de campo, laboratórios e casas de vegetação sobre as temperaturas cardinais que regem cada processo. A média desses valores e o desvio padrão, (valores entre parênteses) são apresentados a seguir. Para o processo de emissão de folhas foram determinados os valores de temperatura basal inferior (Tb) de 7,3 °C ($\pm 3,0$ °C), temperatura ótima (Tot) 31,1 °C ($\pm 1,7$ °C) e temperatura basal superior (TB) de 41,3 °C ($\pm 1,9$ °C). Para todo o ciclo da planta, Tb de 6,2 °C ($\pm 1,1$ °C), Tot 30,8 °C ($\pm 1,6$ °C) e TB de 42,0 °C ($\pm 3,3$ °C). Esses valores são próximos à valores determinados por STRECK et al. (2009a) que encontraram a Tb de 8,0 °C para emissão de folhas de uma cultivar melhorada de milho nas condições de campo em ambiente subtropical.

2.4 Cultivares de milho: locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs) e melhoradas

Quanto à variabilidade genética, as cultivares de milho podem ser agrupadas em cultivares locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs), todas do tipo variedades de polinização aberta (VPA), e em cultivares melhoradas, que incluem além das VPAs, os híbridos (MORRIS et al., 2003). Uma cultivar local se caracteriza aquela população que está sob um contínuo manejo pelos agricultores, a partir de ciclos dinâmicos de cultivo e de seleção, ou não, dentro de ambientes agroecológicos e socioeconômicos específicos, sendo necessário pelo menos cinco ciclos de cultivo para que uma cultivar se torne local (MACHADO et al., 2008; BERG et al., 2009). Os mesmos autores colocam que uma cultivar tradicional é aquela que está sendo manejada em um mesmo ecossistema, por pelo menos três gerações familiares (avô, pai e filho), via familiar ou via comunidade, período no qual são incorporados valores históricos que passam a fazer parte das tradições locais. O termo “crioulas” é utilizado em países de língua espanhola para designar variedades tradicionais, mas pode ser adotado para

as situações em que as cultivares estão introduzidas em comunidades há menos de vinte anos (BERG et al., 2009). Na língua inglesa essas cultivares são denominadas “landraces” (ARAÚJO; NASS, 2002).

A despeito das diferenças existentes em relação ao seu tempo de cultivo na comunidade em que são conservadas, as cultivares crioulas compartilham o atributo de adaptação às condições locais de cultivo por meio de seleção natural, exercida por pressões de natureza biótica e abiótica, e artificial, praticada pelos agricultores familiares, os quais intencionalmente elegem caracteres alvo em função de suas demandas próprias, como, por exemplo, finalidade de uso e ciclo (BERG et al., 2009). Os agricultores que realizam o cultivo de sementes crioulas visam a segurança alimentar para suas famílias através dos seus próprios sistemas de cultivo, manutenção da cultura e das tradições locais, além de realizarem a preservação de um valioso patrimônio genético (MENEGUETTI et al., 2002).

As CLTCs, devido à grande variabilidade genética que apresentam, são um reservatório de genes na busca por resistência ou tolerância aos cenários de estresse, atuais e futuros, como a possível mudança climática (MACHADO et al., 2011). Devido à sua ampla variabilidade genética, que lhes confere rusticidade e adaptação, as CLTCs são uma opção para cultivos com baixo nível tecnológico, mas que proporciona produtividades rentáveis (SANDRI; TOFANELLI, 2008).

O resgate e preservação dessas cultivares vêm sendo realizado à nível de país e de Estado. Como exemplo citam-se as sementes das CLTCs que foram resgatadas e vêm sendo dinamicamente conservadas pelos agricultores que fazem parte da Associação dos Guardiões das Sementes Crioulas do município de Ibarama - RS. A Associação preserva um elenco de mais de 30 materiais cultivados que integram Bancos Familiares de Sementes Crioulas. Localizado na região Centro Serra do Rio Grande do Sul (RS), Ibarama se destaca na produção e conservação de sementes de cultivares crioulas de milho. O município que anteriormente utilizava mais de 90% de cultivares híbridas de milho usa, hoje, menos de 50%, possuindo estoque de sementes de cultivares crioulas para trocar e comercializar com outros agricultores (BARCHET et al., 2007).

As cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (Figura 1a) e ‘Bico de ouro’ (Figura 1b) são representativas do elenco de cultivares preservadas em Ibarama. Essas cultivares possuem características que as diferenciam e qualificam. Foi realizada avaliação dos descritores morfoagronômicos das cultivares ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ utilizando-se a escala de notas do Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC. A ‘Cinquentinha’ foi classificada como de estatura média (1,48 a 2,30 m), forma da espiga cônica, grão do tipo

dentado, possuindo de 11 a 13 fileiras por espiga e endosperma na cor branca (FRUET, 2014). A cultivar ‘Bico de ouro’ foi classificada como de estatura alta (2,3 a 3,13 m), forma da espiga cilíndrica/cônica, tipo de grão dentado e endosperma na cor amarela (COCCO, 2014). A cultivar ‘Cinquentinha’ possui ciclo precoce e a ‘Bico de ouro’ ciclo tardio.

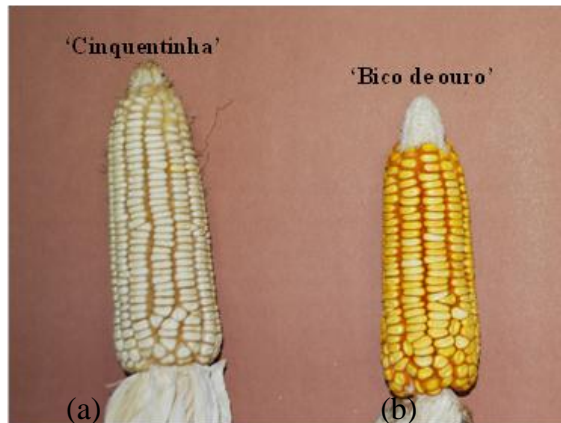


Figura 1 – Imagem ilustrativa das espigas das cultivares crioulas de milho ‘Cinquentinha’ (a) e ‘Bico de ouro’ (b), Santa Maria, RS.

As cultivares melhoradas são aquelas sintetizadas por um programa formal de melhoramento genético, e que são comercializadas sob denominação registrada e/ou sob proteção intelectual por um sistema patentário, um modelo *sui generis* ou uma combinação de ambos (VIANA, 2011). A utilização de híbridos exige sistemas de manejo com maior nível tecnológico, caracterizados pelo uso de irrigação, pelo controle adequado de pragas e doenças, e pela maior aplicação de fertilizantes (ARGENTA et al., 2003). No entanto, a adoção destes sistemas demanda alto investimento inicial, o que muitas vezes só é possível para agricultores capitalizados, com condições de investir na produção (SANGOI et al., 2006). Para melhorar a eficiência dos sistemas de produção e reduzir perdas é necessário adequar o tipo de cultivar com o nível tecnológico disponível, e manejar a época de semeadura observando as variações ambientais.

Visando disponibilizar variedades de polinização aberta com maior potencial produtivo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Clima Temperado desenvolveu a cultivar ‘BRS Planalto’ (Figura 2a). Essa variedade foi classificada como possuidora de estatura média de 1,75 m, grão do tipo semiduro, cor do endosperma amarela alaranjada, resistência moderada ao acamamento, ciclo precoce e finalidade principal a produção de grãos (EMYGDIO et al., 2006). A cultivar híbrida ‘AS 1573PRO’ (Figura 2b) foi

desenvolvida pela empresa AGROESTE[®], sendo um dos híbridos geneticamente modificados que estavam sendo disponibilizados na safra 2013/2014 no sistema troca-troca do Estado como milho semente. Segundo informações da empresa detentora, ‘AS 1573PRO’ possui porte alto, grão do tipo semidentado, endosperma na cor amarela, ciclo precoce e finalidade da produção grãos e silagem (AGROESTE, 2015).

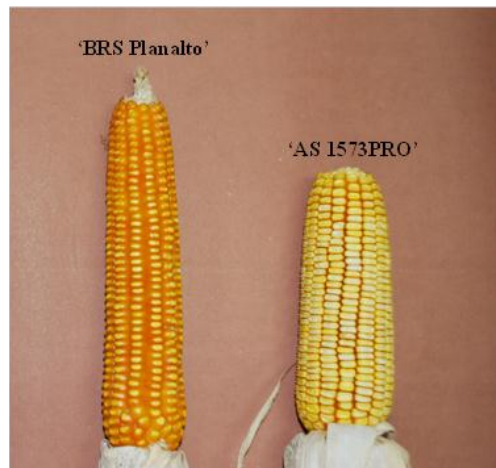


Figura 2 – Imagem ilustrativa das espigas das cultivares melhoradas de milho ‘BRS Planalto’ (a) e ‘AS 1573PRO’ (b), Santa Maria, RS.

2.5 Desenvolvimento vegetal

O desenvolvimento vegetal é definido por processos que incluem desde a diferenciação celular, a iniciação e aparecimento de órgãos, até a maturação quando a planta completa seu ciclo (HODGES, 1991; WILHELM; MACMASTER, 1995). A planta de milho tem seu desenvolvimento governado pela temperatura do ar (COELHO; DALE, 1980; STRECK et al., 2008). Um parâmetro do desenvolvimento das plantas é a emissão de folhas que ocorre durante parte do ciclo de desenvolvimento da cultura, que pode ser determinada através da velocidade ou taxa de emissão de folhas (TAF). Quando a TAF é integrada no tempo fornece o número de folhas visíveis (STRECK et al., 2003; STRECK et al., 2009b). Em milho o número de folhas está relacionado com o surgimento dos estágios vegetativos do desenvolvimento (STRECK et al., 2009b). Sendo um estágio de desenvolvimento caracterizado quando pelo aparecimento de um órgão na planta, e o intervalo de tempo entre os estágios é denominado fase de desenvolvimento (STRECK et al., 2003).

O ciclo de desenvolvimento da cultura do milho tem sido dividido em fase vegetativa, representada pelos estágios vegetativos que são formados pela letra “V” e um algarismo, e fase reprodutiva, representada pelos estágios reprodutivos formados pela letra “R” e um algarismo correspondente (RITCHIE et al., 1993). A fase vegetativa tem início com a emergência (EM) e termina com o pendoamento (VT), o estágio V é considerado a cada nova folha totalmente expandida, sendo V1 uma folha completamente expandida, V2 duas completamente expandidas, e assim sucessivamente até VT (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014; RITCHIE et al., 1993).

Os estágios reprodutivos tem início em R1, quando qualquer estigma é visível fora da palha da espiga, até R6, quando é atingida a maturidade fisiológica, indicando que todos os grãos da espiga atingiram seu máximo acúmulo de matéria seca. Entre os estágios R1 e R6 situam-se os estágios R2 - grão leitoso, R3 - grão pastoso, R4 - grão farináceo e R5 - grão farináceo duro (RITCHIE et al., 1993).

O conhecimento dos estágios de desenvolvimento é fundamental para caracterizar as necessidades e sensibilidades da cultura, estabelecer de forma correta relações com as condições do ambiente, determinar os períodos críticos da cultura e classificar os genótipos segundo sua precocidade (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). A informação do momento de ocorrência dos estágios auxilia no melhor aproveitamento dos recursos naturais, visando à obtenção de bons rendimentos e também para evitar perdas com o cultivo de milho (FORSTHOFER et al., 2004).

2.6 Simulação do desenvolvimento vegetal: modelos lineares e não lineares

A taxa de aparecimento de folhas (TAF), número de folhas (NF), data de ocorrência dos estágios de desenvolvimento e duração das fases do desenvolvimento são exemplos de parâmetros de desenvolvimento de interesse agrônomo em muitos estudos (AMIR; SINCLAIR, 1991; STRECK et al., 2008; 2009ab). A simulação dos processos básicos é um importante componente em modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, para se estudar a resposta das culturas frente as alterações climáticas, como também melhorar as práticas de manejo (STRECK, et al., 2008, 2009ab; ERPEN et al., 2013). A temperatura do ar é a principal variável meteorológica que governa o desenvolvimento do milho (WHITE, 2001; STRECK, et al., 2008; 2009ab). A taxa

de desenvolvimento é máxima quando ocorre temperatura do ar igual à Tot, e cessa quando a temperatura está abaixo Tb e acima da TB (STRECK et al., 2008; ERPEN et al., 2013). Esses pontos de resposta da temperatura do ar pelo desenvolvimento caracterizam as temperaturas cardinais da cultura (YAN; HUNT, 1999; STRECK et al., 2008; 2009ab).

A influência da temperatura sobre o desenvolvimento do milho pode ser representada tanto por modelos lineares que usam o conceito de soma térmica ou graus-dia, quanto por modelos não lineares que empregam funções multiplicativas, como o de Wang e Engel (WANG; ENGEL, 1998) (Figura 3). O método da soma térmica usa do conceito de que as plantas, para completarem cada subperíodo do desenvolvimento ou emitirem uma nova folha, necessitam de certa quantidade de energia que é acumulada acima de uma temperatura base favorável ao seu desenvolvimento, pressupondo uma relação linear entre o acréscimo de temperatura e o desenvolvimento vegetal (BRUNINI et al., 1976; TRENTIN et al., 2008). Apesar de ser amplamente utilizado o modelo da soma térmica recebe algumas críticas, como a existência de vários métodos de cálculo, os quais muitas vezes são confusos (WILHELM; McMASTER, 1997), usam ou não as três temperaturas cardinais da cultura e que funcionam bem quando o desenvolvimento é linear dentro da faixa de resposta linear às temperaturas. Quando as respostas ocorrem em faixas não lineares (semeaduras precoces quando as temperaturas baixas são frequentes e cenários de mudança climática com temperaturas mais altas) a abordagem linear se torna falha (STRECK et al., 2009a).

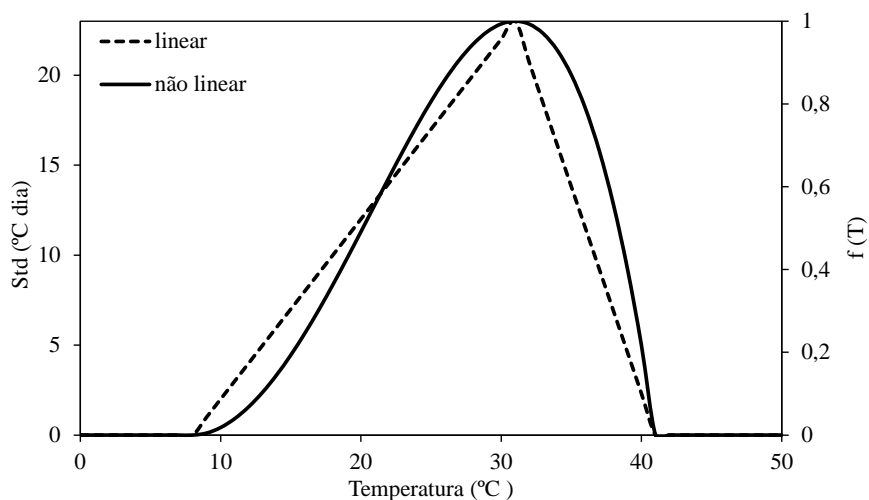


Figura 3 – Representação gráfica da resposta do desenvolvimento à temperatura do ar em milho pelo modelo linear (soma térmica) e pelo modelo não linear (Wang e Engel), considerando como Tb= 8 °C, Tot= 31 °C e TB= 41 °C. Std é a soma térmica diária e f(T) é a função de temperatura do modelo Wang e Engel.

Uma alternativa ao uso da soma térmica são os modelos multiplicativos que usam funções de resposta à temperatura $f(T)$ não linear para descrever o desenvolvimento das culturas, como o modelo de Wang e Engel (WE) (WANG; ENGEL, 1998). No modelo de WE a função de resposta da TAF à temperatura do ar é não linear e descrita por uma função beta, que varia de zero a um, seus coeficientes (TAF_{max} , r_{max} , T_b , T_{ot} e T_B) possuem significado biológico e definição operacional (podem ser estimados ou medidos) (WANG; ENGEL, 1998). O significado biológico das temperaturas cardinais resulta de que elas representam a faixa de temperatura em que ocorre o desenvolvimento vegetal, abaixo da T_b ou acima da T_B é considerado que o desenvolvimento não ocorre, e quando a temperatura do ar é igual à T_{ot} da cultura, ocorre o máximo desenvolvimento. O máximo desenvolvimento é representado pela TAF_{max} e r_{max} , este ocorre quando as plantas estão na ótima condição de temperatura para seu desenvolvimento. A função de temperatura do modelo WE contempla a faixa não linear do desenvolvimento, podendo representá-lo melhor para a cultura do milho em condições mais extremas.

3. ARTIGO 1

Modelagem da emissão de folhas em cultivares crioulas e melhoradas de milho¹

Resumo

A emissão de folhas é um importante componente em modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi comparar a simulação da emissão de folhas totais de cultivares crioulas e melhoradas de milho com os modelos CSM-CERES-Maize (linear) e Wang e Engel (não linear). Para tanto, foram realizados dois experimentos nas safras agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015, no delineamento de blocos ao acaso. Os coeficientes dos modelos foram calibrados a partir de um conjunto de dados de número de folhas totais de plantas, coletados na semeadura de 04/11/2013 para as cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ e um híbrido simples ‘AS 1573PRO’. Para a variedade de polinização aberta melhorada ‘BRS Planalto’, os coeficientes foram estimados com dados da semeadura de 13/12/2014. A avaliação dos modelos foi realizada com dados independentes de semeaduras do ano agrícola 2013/2014 (Experimento 1), e ano 2014/2015 (Experimento 2) em Santa Maria, RS, Brasil. A melhor estimativa do número total de folhas, tanto para cultivares crioulas como melhoradas de milho, foi obtida com o modelo Wang e Engel. A raiz do quadrado médio do erro do modelo foi de 0,9 folhas, em comparação com o modelo linear CSM- CERES-Maize, em que a raiz do quadrado médio do erro foi de 1,5 folhas.

Palavras-chave: desenvolvimento vegetativo, temperatura do ar, época de semeadura, modelo, *Zea mays*

¹ Manuscrito formatado de acordo com as normas da revista *Bragantia*, 2015.

Modeling leaf appearance of landrace and improved maize cultivars

Abstract

Leaf appearance is an important component of crop growth, development and yield simulation models. The study aimed to compare the simulation of tip leaf number of landrace and improved maize cultivars with the CSM-CERES-Maize model (linear) and the model of Wang and Engel (non-linear). The coefficients of the models were calibrated using a data set of tip leaf number collected in the 11/04/2013 sowing date for the landrace varieties 'Cinquentina' and 'Bico de ouro' and the simple hybrid 'AS 1573PRO'. For the 'BRS Planalto' variety, model coefficients were estimated with data from the 12/13/2014 sowing date. The evaluation of the models was with independent data collected during the 2013/2014 (Experiment 1) and the 2014/2015 (Experiment 2) growing seasons in Santa Maria, RS, Brazil. The number of leaf tip leaves for both landrace and improved maize varieties was better estimated with the Wang and Engel model, with a root mean square error of 0.9 leaves, compared to the CSM-CERES-Maize model, that had a root mean square of the mean square error of 1.5 leaves.

Key words: vegetative development, temperature, sowing time, model, *Zea mays*

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L) desempenha importante papel econômico e social, devido à multiplicidade de utilizações, desde a alimentação humana e animal, fabricação de bioprodutos até na obtenção de biocombustíveis (Ferreira Júnior et al., 2014). É cultivado tanto como *commodity* agrícola em sistemas de manejo com alto nível tecnológico (Argenta et al., 2003) como também na agricultura familiar, visando subsistência e sustentabilidade da propriedade (Sandri & Tofanelli, 2008).

Quanto à variabilidade genética, as cultivares de milho podem ser agrupadas em cultivares locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs), todas do tipo variedades de polinização aberta

(VPA), e em cultivares melhoradas, que incluem além das VPAs, também híbridos (Morris et al., 2003). Os agricultores possuem ampla autonomia de acesso, manejo e comercialização de sementes e grãos das CLTCs, as quais, na maioria das vezes, são denominadas “crioulas”, haja vista a inexistência de estudos acerca de sua real natureza (locais ou tradicionais). As cultivares melhoradas são aquelas sintetizadas por um programa formal de melhoramento genético, e são comercializadas sob denominação registrada e/ou sob proteção intelectual por um sistema patentário, um modelo *sui generis* ou uma combinação de ambos (Viana, 2011).

A emissão de folhas é um importante componente de modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, incluindo o milho (Streck et al., 2009a,b; 2010), influenciada, principalmente pela temperatura do ar (White, 2001; Streck et al., 2009a). A influência da temperatura do ar sobre a taxa de emissão de folhas (TAF) pode ser representada, tanto por modelos lineares, que usam o clássico conceito de soma térmica ou graus-dia, quanto por modelos não lineares, que usam funções multiplicativas, como o de Wang e Engel (Wang & Engel, 1998).

Os modelos lineares pressupõem que as plantas necessitam de certa quantidade de graus-dia para completarem uma fase do desenvolvimento ou emitirem uma nova folha (Trentin et al., 2008), mas essa pressuposição é, às vezes, contestada, pois, do ponto de vista biológico, o processo é linear apenas em uma parte da resposta do desenvolvimento à temperatura, o que ocorre apenas em uma faixa entre a temperatura basal inferior e a ótima da cultura (Streck et al., 2002, 2003). Em muitas situações, a resposta ocorre em faixas não lineares, como em semeaduras precoces, quando as temperaturas do ar baixas são frequentes e em cenários de mudança climática, quando ocorrem temperaturas do ar mais altas (Streck & Alberto, 2006). Modelos de simulação já consagrados para a cultura do milho, como o modelo CSM-CERES-Maize na plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones

& Kiniry, 1986; Hoogenboom et al., 2012), utilizam a abordagem linear para simular emissão de folhas.

Uma alternativa à soma térmica são os modelos que usam funções de resposta não lineares para descrever o desenvolvimento das culturas, em resposta à fatores do meio, como o modelo de Wang e Engel (WE) (Wang & Engel, 1998). Este modelo é considerado de abordagem simples, seus coeficientes (TAFmax, Tb, Tot e TB) possuem significado biológico, e definição operacional (podem ser estimados ou medidos), e o efeito dos fatores ecológicos sobre o desenvolvimento vegetal é representado de maneira multiplicativa.

Para cultivares crioulas de milho não há registro na literatura de tentativas de descrever as interações entre a planta e o ambiente por meio de modelos matemáticos, uma ferramenta moderna cada vez mais usada (Streck & Alberto, 2006). O modelo de Wang e Engel (1998) já foi calibrado para a emissão de folhas da VPA melhorada 'BRS Missões' (Streck et al., 2009b; 2010), mas com o modelo CSM-CERES-MAIZE não há referências de estudos anteriores de calibração e simulação da emissão de folhas para cultivares de milho tipo VPA, sejam melhoradas ou crioulas (Jones & Kiniry, 1986). O objetivo deste trabalho foi comparar a simulação da emissão de folhas totais de cultivares crioulas e melhoradas de milho com os modelos CSM-CERES-Maize (linear) e Wang e Engel (não linear).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de campo com a cultura do milho, nos anos agrícolas de 2013/2014 (Experimento 1) e 2014/2015 (Experimento 2), em diferentes datas de semeadura, em Santa Maria, RS, Brasil, (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 43'W e altitude: 95 m). O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico) (Streck et al., 2008). O clima da região é do tipo Cfa,

subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, segundo a classificação de Köppen (Kuinchner & Buriol, 2001).

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional, com uma aração e duas gradagens. A correção do solo foi feita com calcário incorporado, com PRNT 76,16% para atingir o pH 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004). A adubação de base variou de acordo com os resultados da análise de solo, sendo aplicados em média 750 kg ha^{-1} de adubo (NPK) da fórmula 5-20-20. A adubação nitrogenada em cobertura foi baseada em expectativa de rendimento de grãos de $8,0 \text{ t ha}^{-1}$, aplicando 115 Kg ha^{-1} de N, fracionada nos estágios V3 e V8 (Magalhães et al., 2002). Foi realizada irrigação suplementar por gotejamento para evitar deficiência hídrica. O controle de plantas daninhas foi manual.

No Experimento 1 foram utilizadas duas cultivares crioulas: ‘Cinquentinha’ (ciclo Precoce) e ‘Bico-de-ouro’ (ciclo Tardio) e ‘um híbrido simples: AS 1573PRO’ (ciclo Precoce), enquanto, no Experimento 2, foram utilizadas duas crioulas ‘Cinquentinha’ (ciclo Precoce) e ‘Bico-de-ouro’ (ciclo Tardio) e duas melhoradas, ‘BRS Planalto’ do tipo VPA (ciclo Precoce) e ‘AS 1573PRO’ um híbrido simples (ciclo precoce).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada repetição foi composta por cinco linhas, com 5 m de comprimento, sendo as duas linhas laterais usadas como bordadura. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e entre plantas de 0,20 m (densidade de $5,5 \text{ pl m}^{-2}$). No Experimento 1, as datas de semeadura foram 20/08/2013, 04/11/2013 e 04/02/2014 enquanto, no Experimento 2, as datas de semeaduras foram 15/08/2014, 13/12/2014 e 07/01/2015. Estas datas de semeadura (exceto a semeadura de 04/02/2014) estão dentro do período indicado para a semeadura do milho na região, que se estende de 11/08 a 20/08 e 21/11 a 20/01 (Emygdio et al., 2013). Nas três linhas centrais de cada parcela foram marcadas 45 plantas nas cultivares crioulas, devido a sua maior variabilidade genética, e 15 plantas por parcela nas cultivares melhoradas, utilizando um

arame colorido. Nestas plantas marcadas, semanalmente, foi contado o número de folhas totais (NFT) a partir do momento em que o dossel estava estabelecido, quando as plantas tinham em média quatro folhas, até as plantas emitirem a folha bandeira. Para a contagem foi considerada uma folha quando a ponta estava visível no cartucho (Streck et al., 2009b).

Os dados diários de temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do ar foram coletados na estação automática do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), localizada à aproximadamente 100 m da área experimental.

Para simular a emissão de folhas em milho foram utilizados dois modelos: o modelo linear, do CSM-CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986) e o modelo não linear de Wang e Engel (Wang & Engel, 1998).

No modelo CSM-CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986), o número de folhas totais (NFT, folhas/planta), foi calculado por:

$$\text{NFT} = \text{STa}/\text{FILO} \quad (1)$$

em que: STa é a soma térmica acumulada (°C dia) e FILO é o filocrono (°C dia folha⁻¹)

A soma térmica diária (STd, °C dia) no modelo CSM-CERES-Maize foi calculada primeiramente, por:

$$\text{STd} = (\text{Tmed} - \text{Tb}). 1 \text{ dia} \quad (2)$$

se $\text{Tmed} < \text{Tb}$ então $\text{Tmed} = \text{Tb}$ e se, $\text{Tmed} > \text{Tot}$ então $\text{Tmed} = \text{Tot}$, em que: Tmed é a média da temperatura mínima e máxima diária do ar (°C), Tb é a temperatura basal inferior (°C) e Tot é a temperatura ótima da cultura (°C).

Após aplicadas as condições, em que se a temperatura mínima do ar for menor que a Tb e a Tmax do ar for acima da Tot, então é calculada uma interpolação da temperatura do ar usando-se um fator de correção com passo de tempo de 3 h, resultando em um novo valor de Tmed, a $\text{Tmed}_{(1)}$. A soma térmica passa a ser calculada com esse novo valor de $\text{Tmed}_{(1)}$.

$$\text{STd} = (\text{Tmed}_{(1)} - \text{Tb}). 1 \text{ dia} \quad (3)$$

Quando a $T_{med(1)}$ estava entre a T_{ot} e a temperatura basal superior da cultura (TB), a STd foi calculada por:

$$STd = Tot - T_{min} \left[1 - \frac{T_{med(1)} - Tot}{10} \right] \quad (4)$$

A soma térmica acumulada (STa) foi calculada por:

$$STa = \sum STd \text{ (}^{\circ}\text{Cdia)} \quad (5)$$

em que $\sum STd$ é o somatório das somas térmicas diárias.

No modelo WE, o número de folhas foi calculado por (Wang & Engel, 1998; Streck et al., 2009a):

$$NFT = \sum_{i=1}^n TAF_i \text{ \{folhas planta}^{-1}\} \quad (6)$$

em que $\sum_{i=1}^n TAF_i$ é o somatório da taxa de aparecimento de folhas diária (TAF_i). A TAF foi calculada por:

$$TAF = TAF_{max} \cdot f(T) \text{ \{folhas dia}^{-1}\} \quad (7)$$

em que: TAF_{max} é a taxa de aparecimento de folhas máxima diária (folhas dia^{-1}) e $f(T)$ é a função de resposta a temperatura do ar. A $f(T)$ é uma função beta que varia de zero a um (Wang & Engel, 1998):

$$f(T) = \frac{[2(T-Tb)^{\alpha}(Tot-Tb)^{\alpha} - (T-Tb)^{2\alpha}]}{(Tot-Tb)^{2\alpha}} \quad (8)$$

quando $Tb \leq T \leq TB$, $f(T) = 0$ quando $T < Tb$ ou $T > TB$;

$$\alpha = \ln 2 / \ln[(TB - Tb)/(Tot - Tb)] \quad (9)$$

em que: Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais de desenvolvimento do milho e T é a temperatura diária do ar, mínima e máxima. A $f(T)$ foi calculada com a mínima e com a máxima, e depois foi obtida a média aritmética das $f(T)$ s diárias, sendo esse valor usado como dado de entrada na Eq. 7 (Streck et al., 2009a).

As temperaturas cardinais do milho no modelo CERES e WE foram assumidas como sendo $Tb=8,0^{\circ}\text{C}$, $Tot=31,0^{\circ}\text{C}$ e $TB= 41,0^{\circ}\text{C}$ (Yan & Hunt, 1999; White, 2001; Streck et al.,

2009b). Os coeficientes filocrono e TAFmax são dependentes do genótipo e foram estimados com dados do NFT observados nas cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico-de-ouro’ e ‘AS 1573PRO’ na semeadura de 04/11/2013. Para a cultivar ‘BRS Planalto’, a estimativa destes coeficientes foi obtida a partir de dados observados na semeadura de 13/12/2014. O filocrono foi estimado para cada parcela pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NFT e STa (Streck et al., 2009b). A TAFmax foi estimada pelo método dos mínimos quadrados, que minimiza os resíduos entre valores observados e simulados do NFT (Erpen et al., 2013).

Para avaliar o desempenho dos modelos foram utilizados, como dados independentes, o NFT coletado nas datas de semeadura 20/08/2013 e 04/02/2014 (Experimento 1), 15/08/2014, 13/12/2014 e 06/01/2015 (Experimento 2) para as cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico-de-ouro’ e ‘AS 1573PRO’. A avaliação da cultivar ‘BRS Planalto’ foi efetuada com dados independentes coletados nas semeaduras de 15/08/2014 e 07/01/2015 do Experimento 2. Para testar o desempenho dos modelos foram calculadas as seguintes estatísticas (Streck et al., 2009a; Erpen et al., 2013):

Raiz do quadrado médio do erro (RQME):

$$RQME = \left[\frac{\sum(S_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (10)$$

em que: S_i são os valores simulados, O_i são os valores observados e n é o número de observações. Quanto menor é o valor do RQME, melhor é considerado o desempenho do modelo.

Raiz do quadrado médio do erro normalizado RQMEN:

$$RQMEN = RQME \left(\frac{100}{\bar{O}} \right) \quad (11)$$

em que: \bar{O} é a média dos valores observados.

O índice BIAS expressa a tendência do modelo e varia de valores positivos, quando há superestimativa, à negativos, quando há subestimativa do modelo. Quanto mais próximo de zero, melhor é considerado o desempenho do modelo:

$$\text{BIAS} = \frac{\sum S_i - \sum O_i}{\sum O_i} \quad (12)$$

em que: S_i são os valores simulados e O_i são os valores observados.

O coeficiente de Correlação (r) permite quantificar o grau de associação de Pearson:

$$r = \frac{[\sum(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]}{\{[\sum(O_i - \bar{O})^2][\sum(S_i - \bar{S})^2]\}^{0,5}} \quad (13)$$

em que: S_i são os valores simulados, O_i são os valores observados, \bar{O} é a média dos valores observados e \bar{S} é a média dos valores simulados

Foi calculada, ainda, a diferença entre valores observados e simulados (desvios) para se observar a dispersão dos erros, plotando-se os desvios contra os valores observados (Erpen et al., 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os dois anos agrícolas, as plantas de milho foram expostas à diferentes condições de temperatura do ar, com temperaturas mais baixas no início dos Experimentos 1 e 2 em agosto e, com o avançar da primavera e início do verão, as temperaturas aumentaram gradativamente até atingir os valores máximos nos meses de verão (Figura 1a e 1b). No Experimento 1 (2013/2014), o menor valor de temperatura mínima do ar (T_{\min}) foi 1,6 °C e o maior valor de temperatura máxima do ar (T_{\max}) foi 40,0 °C. No Experimento 2 (2014/015), o menor valor de temperatura mínima do ar foi 0,1 °C e o maior valor de temperatura máxima do ar foi 37,2 °C. No Experimento 2, a elevação da temperatura do ar ocorreu já no início da primavera (setembro), e permanecendo elevada (temperatura máxima do ar acima de 25 °C) até o início do outono (março) (Figura 1b).

O filocrono e a TAFmax não diferiram significativamente entre as cultivares de milho (Tabela 1), indicando que há similaridade na velocidade de emissão de folhas nessas cultivares. Apesar de não ter havido diferença entre os coeficientes, optou-se por usar os valores calibrados para cada cultivar, pois estes são coeficientes genéticos específicos. Os valores de filocrono e TAFmax estimados para estas cultivares estão dentro da faixa de valores encontrados para a emissão de folhas totais da VPA de milho ‘BRS Missões’, que foi de 39,6 à 59,8 °C dia folha⁻¹ (Streck et al., 2009b) e de 0,626 folhas dia⁻¹ (Streck et al., 2009a), respectivamente.

De maneira geral, os dois modelos simularam bem a emissão de folhas para todas as cultivares, crioulas e melhoradas, na primeira metade do período de emissão de folhas nos dois experimentos (Figuras 2 e 3). Já na segunda metade do período de emissão de folhas, em geral, o modelo WE teve melhor desempenho em simular a emissão de folhas. Assim, no gráfico dos resíduos em cada painel, os pontos relacionados ao modelo WE estão mais próximos da linha zero, do que os do modelo CERES. Houve subestimativa do NFT pelos dois modelos na semeadura de 20/08/2013 do Experimento 1 (Figura 2), enquanto na primeira semeadura do Experimento 2, houve superestimativa dos dois modelos (Figura 3).

Na semeadura de 03/02/2014 do Experimento 1, de 20/08/2014 e 07/01/2015 do Experimento 2, o modelo WE teve melhor desempenho em simular o NFT, se aproximando do observado, enquanto que a desempenho do modelo CERES foi pior, havendo maior subestimativa (Figura 2 e 3). Uma provável explicação para esses resultados é que, quando a emissão de folhas ocorre na faixa não linear da resposta do desenvolvimento à temperatura do ar, o que acontece quando as temperaturas do ar altas são frequentes (Figura 1), os modelos não lineares, como WE representam melhor a emissão de folhas. Para milho, o modelo WE já havia demonstrado melhor desempenho para simular emissão de folhas da VPA ‘BRS Missões’, em comparação com modelo de soma térmica (Streck et al., 2010).

Os valores das estatísticas calculadas confirmam o melhor desempenho do modelo WE para simular a emissão de folhas em milho (Figura 4). A RQME foi menor com o modelo de WE (0,9 folhas) (Figura 4b), comparado com o modelo CERES (1,5 folhas) (Figura 4a), resultado próximo ao encontrado para a VPA 'BRS Missões' quando o RQME foi 0,8 folhas para o WE e 1,29 folhas com o modelo linear (Streck et al., 2010). Para a cultura da mandioca o RQME foi de 4,4 folhas com o modelo linear e 3,5 folhas com o modelo WE (Samboranha et al., 2013) e para o Eucalipto, o RQME variou de 7,1 a 10 folhas com o modelo linear e 2,7 a 3,7 com o WE (Martins & Streck, 2007).

Os valores negativos da estatística Bias -0,12 para o CERES e -0,04 para o WE indicam que, de maneira geral, os modelos subestimam a emissão de folhas para todas as cultivares (Figura 4), mas com menor subestimativa pelo WE (Figura 4a). Na simulação de emissão de folhas em Eucalipto, Martins & Streck (2007) encontraram superestimativa do modelo WE de 0,02 a 0,27, e para o modelo linear sub e superestimativa de -0,16 a 0,9. A superioridade do WE é confirmada pelo RQMEN com 9,5% de erro, enquanto que para o CERES esse valor é de 16,2%. A estatística r (coeficiente de correlação de Pearson) foi elevada para WE e CERES, 0,99 e 0,98, respectivamente, ambos com alta significância (Figura 4a e 4b).

Analisando-se o desempenho dos modelos para cada cultivar, nos Experimentos 1 e 2, verificou-se a mesma tendência da análise em conjunto, ou seja, melhor desempenho com WE (Tabela 2). A cultivar 'AS 1573PRO', nos dois experimentos, apresentou menor RQME com o modelo WE (Tabela 2). A cultivar 'BRS Planalto' teve mesmo valor de RQME para os dois modelos no Experimento 2, e, nesta cultivar, a emissão de NFT foi subestimada com o modelo WE.

O melhor desempenho do modelo WE é atribuído à resposta não linear do aparecimento de folhas, em função da temperatura do ar (Xue et al., 2004; Samboranha et al., 2013), pois combina os efeitos do ambiente e da TAF de maneira multiplicativa e seus coeficientes

possuem significado biológico, resultando em melhor interação entre os fatores (planta e ambiente) (Streck et al., 2008; Erpen et al., 2013). A simulação da emissão de folhas em outras culturas agrícolas, como o arroz (Streck et al., 2008), mandioca (Samboranha et al., 2013), batata (Streck et al., 2007), trigo (Xue et al., 2004) e a espécie arbórea *Eucalyptus* (Martins & Streck, 2007) também foi melhor com o modelo não linear de WE comparado com o modelo linear, que usa soma térmica. Portanto, os resultados deste trabalho confirmam a superioridade do modelo WE sobre a soma térmica também para cultivares crioulas de milho e ampliam o trabalho de Streck et al. (2009b, 2010) no sentido de determinar o coeficiente TAFmax para duas cultivares crioulas de ciclo distinto (Precoce e Tardio) e uma cultivar melhorada ('BRS Planalto').

CONCLUSÕES

A simulação de emissão de folhas totais para cultivares crioulas e melhoradas de milho apresenta melhor desempenho com o emprego do modelo não linear de Wang e Engel em comparação ao modelo linear CSM-CERES-Maize.

REFERÊNCIAS

- Argenta, G.; Sangoi, L.; Silva, P. R. F. da; Rampazzo, C.; Gracietti, L. C.; Strieder, M. L.; Forsthofer, E. L.; Suhre, E. (2003). Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. *Scientia Agrária*, 4, 27-4. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v4i1.1062>.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E DE FERTILIDADE DO SOLO. (2004). Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS/NRS.
- Emygdio, B. M.; Rosa, A. P. da; Teixeira, M. C. C. (2013). LVIII Reunião Técnica Anual de milho e XLI Reunião Técnica Anual de sorgo: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul Safras 2013/2014 e 2014/2015. Brasília: EMBRAPA.
- Erpen, L.; Streck, N. A.; Uhlmann, L. O.; Langner, J. A.; Winck, J. E. M.; Gabriel, L. F. (2013). Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 1230–1238. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001100015>.
- Ferreira Junior, R. A.; Souza, J. L. de; Teodoro, I.; Lyra, G. B.; Souza, R. C. de; Araújo Neto, R. A. de. (2014). Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 322–328. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300012>.
- Hoogenboom, G., J.W.; Jones, P. W.; Wilkens, C.H.; Porter, K. J.; Boote, L. A.; Hunt, U.; Singh, J. L.; Lizaso, J. W.; White, O.; Uryasev, F.S.; Royce, R.; Ogoshi, A. J.; Gijsman, G. Y.; Tsuji, J. (2012). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Janssen, P. H. M.; Heuberger, P. S. C. (1995). Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling*, 83, 55-66. doi:10.1016/0304-3800(95)00084-9.

- Jones, C. A.; Kiniry, J. R. (1986). CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development. Texas: College Station.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O. LM.; Paiva, E. (2002). Fisiologia do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. (Circular Técnica n. 22).
- Martins, F. B.; Streck, N. A. (2007). Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42, 1091-1100. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800005>.
- Morris, M.; Mekuria, M.; Gerpacio, R. (2003). Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: R. E. Evenson, & D. Gullin, Crop variety improvement and its effect on productivity: The impact of international agricultural research (p. 135–158). Wallingford, UK.
- Sandri, C.; Tofanelli, M. B. D. (2008). Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. Pesquisa Agropecuária Tropical, 38, 59-61.
- Samboranha, F. K.; Streck, N. A.; Uhlmann, L. O.; Gabriel, L. F. (2013). Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. Revista Ciência Agronômica, 44, 815-824.
- Streck, N. A. (2002). A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, 10, 105-111.
- Streck, N. A.; Weiss, A.; Xue, Q.; Baenziger, P. S. (2003). Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 115, 139-150. doi:10.1016/S0168-1923(02)00228-9.
- Streck, N. A.; Alberto, C. M. (2006). Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 41, 1351-1359. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000900002>.

- Streck, N. A.; Lago, I; Paula, F. L. M. de; Bisognin, D. A.; Heldwein, A. B. (2007). Improving predictions of leaf appearance in field grown potato. *Scientia Agricola*, 64, 12-18. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000100002>.
- Streck, N. A.; Bosco, L. C.; Lago, I. (2008). Simulating leaf appearance in rice. *Agronomy Journal*, 100, 490-501. doi:10.2134/agronj2007.0156.
- Streck, E. V.; Kampf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P. (2008). Solos do Rio Grande do Sul. EMATER/RS; UFRGS.
- Streck, N. A.; Gabriel, L. F.; Samboranza, F. K.; Lago, I.; Schwantes, A. P.; Schons, A. (2009a). Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. *Ciência Rural*, 39, 642-648. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000089>.
- Streck, N. A.; Lago, I.; Samboranza, F. K.; Gabriel, L. F.; Schwantes, A. P.; Schons, A. (2009b). Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. *Ciência Rural*, 39, 224-227. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000100035>.
- Streck, N. A.; Gabriel, L. F.; Buske, T. C.; Lago, I.; Samboranza, F. K.; Schwantes, A. P. (2010). Simulating leaf appearance in a maize variety. *Bioscience Journal*, 26, 384-393.
- Trentin, R.; Schreiber, F.; Streck, N. A.; Buriol, G. A. (2008). Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. *Ciência Rural*, 38, 2464-2470. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000016>.
- Viana, A. A. N. (2011). A Proteção de Cultivares no Contexto da Ordem Econômica Mundial. In: Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Proteção de Cultivares no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS.

- Wang, E.; Engel, T. (1998). Simulation of phenological development of wheat crops. *Agricultural Systems*, 58, 1-24. doi:10.1016/S0308-521X(98)00028-6.
- White, J. W. (2001). Modeling temperature response in wheat and maize. El Batán, Mexico: CIMMYT – International Maize and Wheat Improvement Center.
- Xue, Q. ; Weiss, A.; Baenziger, P. S. (2004). Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non – linear models. *Ecological Modelling*, Amsterdam, 175, 261-270. doi:10.1016/j.ecolmodel.2003.10.018.
- Yan, W.; Hunt, L. A. (1999). An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, v.84, p.607-614, 1999. doi: 10.1006/anbo.1999.0955.

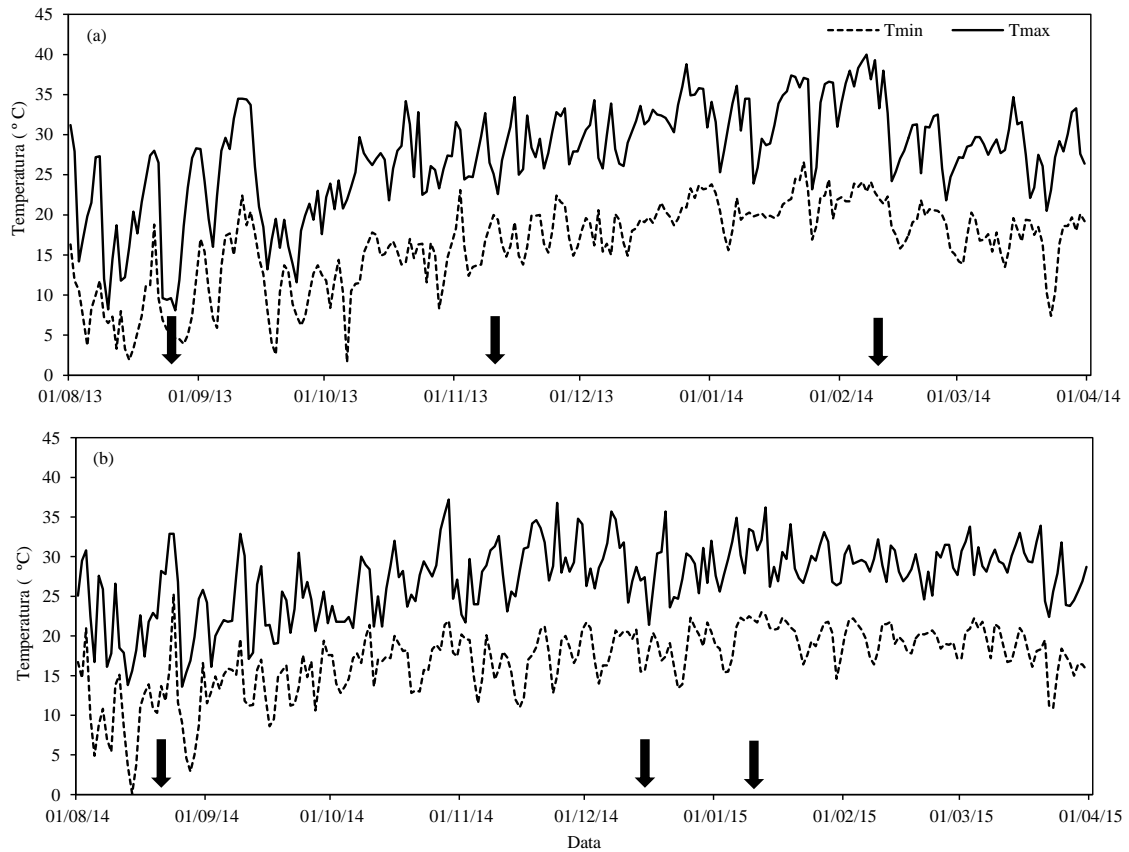


Figura 1. Variação diária da temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do ar durante o Experimento 1 (a), ano agrícola 2013/2014, e o Experimento 2 (b), ano agrícola 2014/2015, em Santa Maria, RS, Brasil. As setas indicam as datas de semeadura do milho.

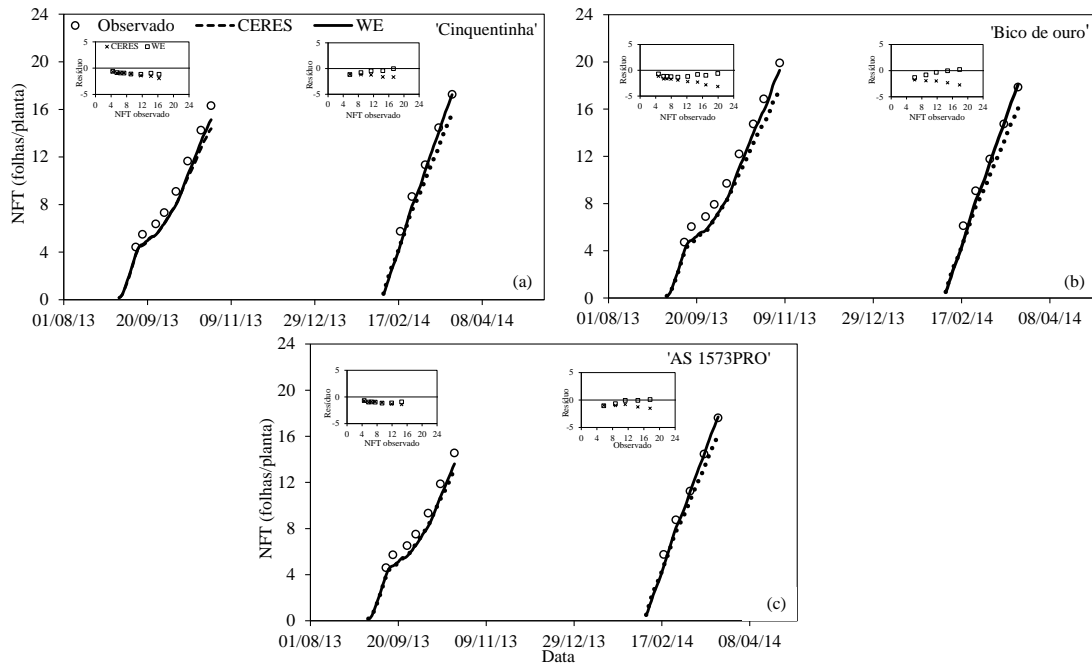


Figura 2. Evolução do número de folhas totais (NFT) observado e simulado com o modelo CSM-CERES-Maize (CERES) e com o modelo Wang e Engel (WE) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’ (a), ‘Bico de ouro’ (b) e ‘AS 1573PRO’ (c) nas datas de semeadura 20/08/2013 e 03/02/2014. Resíduo (NFT simulado menos NFT observado) versus o NFT observado é apresentado nas inserções de cada painel.

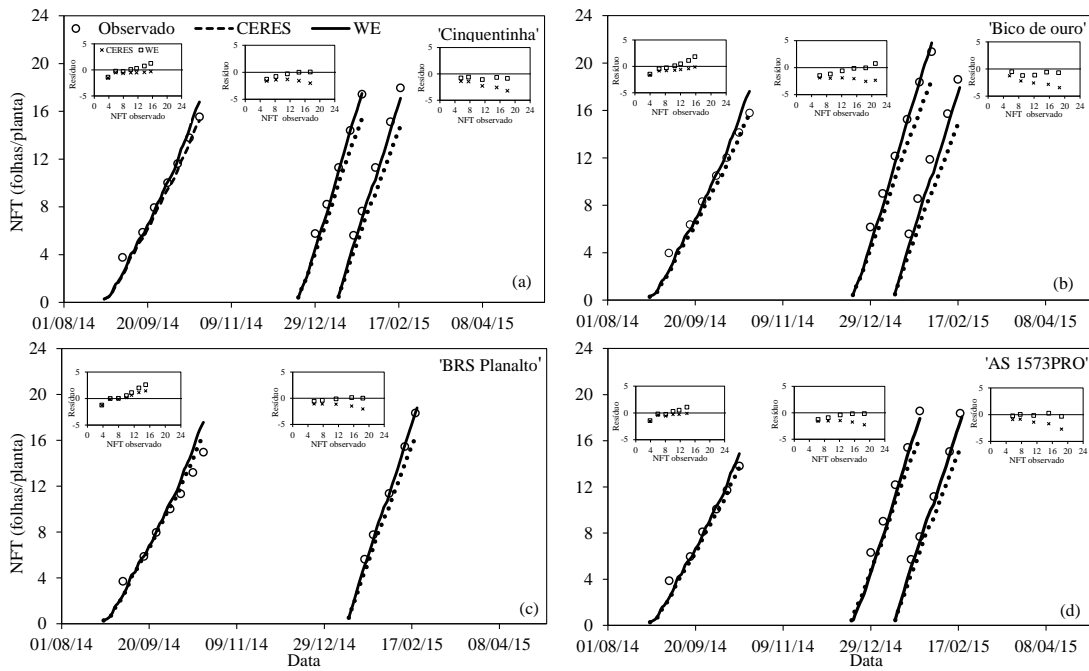


Figura 3. Evolução do número de folhas totais (NFT) observado e simulado com o modelo CSM-CERES-Maize (CERES) e com o modelo Wang e Engel (WE) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’ (a), ‘Bico de ouro’ (b), ‘BRS Planalto’ (c) e ‘AS 1573PRO’ (d), nas datas de semeadura 15/08/2014, 13/12/2014 e 06/01/2015. Resíduo (NFT simulado menos NFT observado) versus o NFT observado é apresentado nas inserções de cada painel.

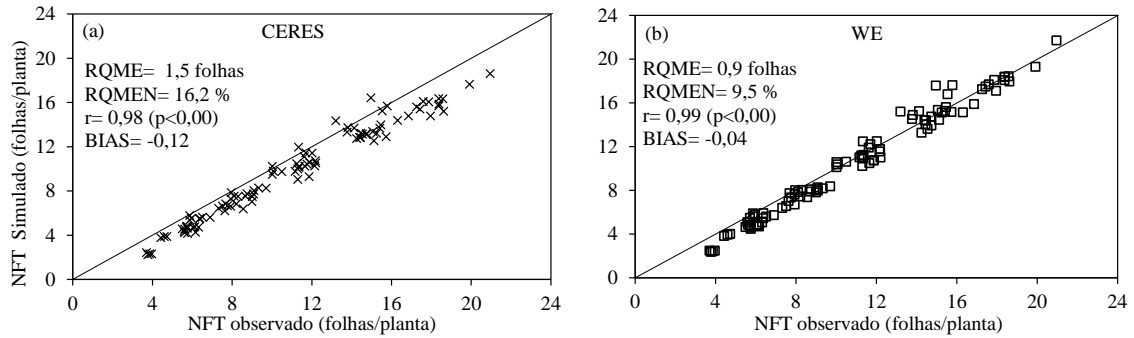


Figura 4. Número de folhas totais (NFT) observado versus simulado com modelo CSM-CERES-Maize (CERES) (a) e com o modelo Wang e Engel (WE) (b) para as cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, nas cinco datas de semeadura usadas como dados independentes (20/08/2013, 03/02/2014, 15/08/2014, 13/12/2014 e 06/01/2015). A linha cheia é a linha 1:1. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias.

Tabela 1. Valores dos coeficientes filocrono e taxa de aparecimento de folhas máxima (TAFmax) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. Os valores entre parênteses são um desvio padrão da média.

Cultivar	Filocrono (°C dia folha ⁻¹)	TAFmax (folhas dia ⁻¹)
‘Cinquentinha’	43,1 (± 1,4) ^{ns}	0,6430 (± 0,018) ^{ns}
‘Bico de ouro’	41,9 (± 1,1)	0,6748 (± 0,026)
‘BRS Planalto’	40,0 (± 1,3)	0,6734 (± 0,013)
‘AS 1573PRO’	41,8 (± 1,6)	0,6597 (± 0,029)
CV (%)	3,24	3,24

^{ns} - Não significativo pelo teste Tukey a 5%; CV- coeficiente de variação

Tabela 2. Valores das estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), raiz do quadrado médio do erro normalizado (RQMENR), coeficiente de correlação de Pearson (r), e índice BIAS (Bias) utilizadas na avaliação dos modelos de Ceres-Maize (CERES) e Wang e Wengel (WE) para a simulação da emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’, no ano agrícola 2013/2014 (Experimento 1) e ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ no ano agrícola 2014/2015 (Experimento 2).

Experimento 1								
Cultivar	RQME		RQMENR		r		Bias	
	CERES	WE	CERES	WE	CERES	WE	CERES	WE
‘Cinquentinha’	1,3	0,9	12,7	8,7	1,00 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,12	-0,08
‘Bico de ouro’	1,6	1,0	13,8	5,1	0,99 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,13	-0,07
‘AS 1573PRO’	1,1	0,8	11,2	8,4	0,99 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,11	-0,07
Experimento 2								
Cultivar	RQME		RQMENR		r		Bias	
	CERES	WE	CERES	WE	CERES	WE	CERES	WE
‘Cinquentinha’	1,6	0,8	14,7	7,1	0,98 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,13	-0,03
‘Bico de ouro’	1,9	0,9	16,1	7,9	0,98 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,14	-0,03
‘BRS Planalto’	1,1	1,1	10,9	10,5	0,97 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	0,04	-0,03
‘AS 1573PRO’	1,4	0,6	13,1	5,9	0,98 (p<0,00)	0,99 (p<0,00)	-0,11	-0,02

4. ARTIGO 2

Simulação da fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho²

Simulating phenology of landrace and improved maize cultivars

RESUMO

A simulação da fenologia é uma ferramenta que pode auxiliar na tomada decisão quanto às práticas de manejo e definição da melhor época para semeadura do milho. O objetivo deste trabalho foi calibrar e validar o modelo de Wang e Engel para simular a fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho. A calibração do modelo foi feita com dados coletados em experimento de campo semeado em 13/12/2014, e a validação com dados de experimentos semeados em 20/08/2013, 04/11/2013, 03/02/2014, 15/08/2014 e 07/01/2015 em Santa Maria, RS. O delineamento foi blocos ao acaso com quatro repetições. Foram registradas as datas de emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) de duas cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ e duas melhoradas ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. A raiz do quadrado médio do erro para emergência foi 1,4 dias, para R1 foi 4,5 dias enquanto que para R6 foi 4,3 dias. O modelo estima de forma precisa a fenologia das cultivares crioulas e melhoradas de milho.

Palavras-chave: modelagem, estágios de desenvolvimento, temperatura do ar, *Zea mays*

ABSTRACT

This study aimed to calibrate and test the Wang and Engel model for simulating the phenology of landraces and improved maize cultivars. The model calibration was done with field experiment data collected at 13/12/2014 sowing date and testing was done with data sets from five sowing dates (08/20/2013, 11/04/2013, 02/03/2014, 08/15/2014 and

¹ Manuscrito formatado de acordo com as normas da revista Ciência Rural, 2015.

01/07/2015) in Santa Maria, RS. The experimental design was complete randomized blocks with four replications. The dates of emergency, silking and physiological maturity of two landraces ('Cinquentinha' and 'Bico de ouro') and two improved cultivars ('BRS Planalto' and 'AS 1573PRO') were recorded. The root mean square error for emergency was 1.4 days, for silking was 4.5 days and for physiological maturity was 4.3 days. The model estimates with good precision all developmental stages of the landraces and improved cultivars.

Key words: modeling, development stages, air temperature, *Zea mays*

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L) apresenta grande importância devido ao seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, o que permite seu uso em diferentes setores, desde alimentação animal e humana, consumo *in natura* ou mediante industrialização, até a produção de biocombustíveis. As condições de cultivo desse cereal são bastante diversificadas, havendo desde lavouras comerciais com alta tecnologia até aquelas em que o cultivo é realizado apenas para subsistência (IKEDA et al., 2013).

As cultivares de milho podem ser classificadas como cultivares locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs), as quais são todas do tipo variedade de polinização aberta (VPA), ou como cultivares melhoradas, que além de VPA incluem, também os híbridos (MORRIS et al., 2003). As CLTCs são, geralmente, denominadas “crioulas” e compartilham o atributo de adaptação às condições locais de cultivo por meio da seleção natural, exercida por pressões de natureza biótica e abiótica, e artificial, praticada pelos agricultores familiares (BERG, 2009). Já as cultivares melhoradas são aquelas sintetizadas em um programa formal de melhoramento genético, sendo comercializadas sob denominação registrada e/ou sob proteção

intelectual por um sistema patentário, um modelo *sui generis* ou uma combinação de ambos (VIANA, 2011).

Os modelos de simulação das culturas agrícolas são ferramentas que permitem descrever desde processos básicos, como o desenvolvimento das plantas, até processos mais complexos, como o rendimento das culturas. A simulação dos processos básicos é fundamental para diferentes finalidades, como, por exemplo, estudar a resposta das culturas à alteração climática e na determinação da época mais apropriada para a aplicação de práticas de manejo e melhor época para realizar a semeadura em determinado local (ERPEN et al., 2013).

A temperatura do ar é a principal variável meteorológica que governa o desenvolvimento do milho (STRECK et al., 2008; 2009), sendo que os modelos que a consideram são divididos em dois grupos: os lineares, que usam o conceito de soma térmica ou graus-dia; e os não lineares, que empregam funções multiplicativas, como o de Wang e Engel - WE (WANG & ENGEL, 1998). O primeiro é considerado mais simples do ponto de vista operacional, e pressupõe uma relação linear entre a temperatura e o desenvolvimento, o que, do ponto de vista biológico, não é totalmente realístico (STRECK et al., 2007). Já no modelo de WE, a função de resposta à temperatura do ar $f(T)$ é não linear e descrita por uma função beta que varia de zero a um, com três coeficientes com significado biológico (temperaturas cardinais de desenvolvimento: mínima, ótima e máxima) e definição operacional, podem ser medidos ou estimados (ALBERTO et al., 2009). A função de resposta é zero quando a temperatura do ar está abaixo da mínima ou acima da máxima, e a resposta é máxima quando a temperatura do ar for igual à ótima da cultura (STRECK et al., 2008). A $f(T)$ é multiplicada pela taxa máxima de desenvolvimento (r_{max}) para calcular-se a taxa diária do desenvolvimento do milho (STRECK et al., 2008; 2009).

Para a cultura do milho já foi realizada a comparação da simulação da fenologia da cultivar melhorada ‘BRS Missões’ com modelo linear (soma térmica) e não linear (WE). Nesse caso, o modelo WE simulou melhor a data de espigamento (R1) e da maturidade fisiológica (R6) (STRECK et al., 2008). No entanto, para cultivares crioulas de milho não foi observado, na literatura, nenhum registro de estudo do modelo de WE para a simulação da fenologia. O objetivo deste trabalho foi calibrar e validar o modelo de Wang e Engel para simular a fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados usados neste estudo são provenientes de experimentos conduzidos em campo, em Santa Maria, RS, Brasil, (latitude: 29° 43’S, longitude: 53° 43’W e altitude: 95 m), com a cultura do milho, nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015, em diferentes datas de semeadura. O solo do local é classificado como uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico) (STRECK et al., 2008). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, segundo a classificação de Köppen.

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional, com uma aração e duas gradagens. A correção do solo foi feita com calcário incorporado ao solo, com PRNT de 76,16% para atingir o pH 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004). Na adubação de base foram aplicados, em média, 450 kg ha⁻¹ de adubo (NPK) da fórmula 5-20-20. A adubação nitrogenada em cobertura foi fracionada nos estágios V3 e V8 aplicando-se 115 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (46%). Foi realizada irrigação suplementar por gotejamento para evitar deficiência hídrica. O controle de plantas daninhas foi realizado com capinas manuais.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada repetição composta por cinco linhas com 5 m de comprimento, e as duas linhas laterais usadas como bordadura. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e entre plantas de 0,20 m. Foram estudadas duas cultivares crioulas: ‘Cinquentinha’ e ‘Bico-de-ouro’ e uma melhorada, o híbrido ‘AS 1573PRO’, nos dois anos agrícolas (semeaduras de 20/08/2013, 04/11/2013, 03/02/2014, 15/08/2014, 13/12/2014 e 07/01/2015) e, também, uma melhorada do tipo variedade de polinização aberta (VPA) ‘BRS Planalto’, no ano agrícola 2014/2015 (semeaduras de 15/08/2014, 13/12/2014 e 07/01/2015). A data da emergência (EM) foi considerada quando 50% ou mais das plântulas da parcela estavam visíveis acima do nível do solo.

Nas parcelas com as cultivares crioulas foram marcadas 45 plantas devido a sua maior variabilidade genética, enquanto nas melhoradas foram marcadas 15 plantas, utilizando-se um arame colorido. As plantas marcadas foram utilizadas para determinar os estágios de espigamento (R1), quando 50% ou mais das plantas de cada parcela estavam com os estigmas visíveis na espiga (RITCHIE et al., 1997), e a maturidade fisiológica (R6). O R6 nas plantas das cultivares crioulas foi considerado quando a folha da base da espiga estava 100% seca, e, nas melhoradas, quando a palha que recobria a espiga estava 100% seca, através da visualização da senescência total. Os dados diários de temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax) do ar foram coletados na estação automática do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), localizada a aproximadamente 100 m da área experimental.

Para as simulações, o ciclo foi dividido em três fases (RITCHIE et al., 1993; STRECK et al., 2008; 2009): fase de emergência, da semeadura (SE) até a emergência (EM); fase vegetativa, da emergência (EM) até o espigamento (R1); fase reprodutiva, do espigamento (R1) até a maturação fisiológica (R6). O primeiro passo consistiu em calcular a

taxa diária de desenvolvimento (r). O estágio de desenvolvimento (D_s) é obtido pelo acúmulo da taxa diária de desenvolvimento ($DS = \sum r$). O DS foi considerado -1,0 na semeadura e 0,0 na EM, 1,0 em R1 e 2,0 em R6 (COSTA & BARROS, 2001). As equações gerais do modelo são (WANG & ENGEL, 1998; STRECK et al., 2008; 2009):

Para a fase de emergência (SE-EM):

$$r = r_{\max,e} f(T) \quad \{\text{dia}^{-1}\} \quad (1)$$

para a fase vegetativa (EM-R1):

$$r = r_{\max,v} f(T) \quad \{\text{dia}^{-1}\} \quad (2)$$

para a fase reprodutiva (R1-R6):

$$r = r_{\max,r} f(T) \quad \{\text{dia}^{-1}\} \quad (3)$$

em que: $r_{\max,e}$, $r_{\max,v}$ e $r_{\max,r}$ são a taxa máxima de desenvolvimento diário (dia^{-1}) e $f(T)$ é a função de resposta a temperatura do ar, que varia de zero a um (WANG & ENGEL, 1998):

$$f(T) = \frac{[2(T-T_b)^\alpha (T_{\text{Tot}}-T_b)^\alpha - (T-T_b)^{2\alpha}]}{(T_{\text{Tot}}-T_b)^{2\alpha}} \quad (4)$$

quando $T_b \leq T \leq T_B$, e $f(T) = 0$ quando $T < T_b$ ou $T > T_B$, com:

$$\alpha = \ln(2) / \ln\left[\frac{T_B - T_b}{T_{\text{Tot}} - T_b}\right] \quad (5)$$

em que: T_b , T_{Tot} e T_B são as temperaturas cardinais ($^{\circ}\text{C}$) (basal inferior, ótima e basal superior, respectivamente) de desenvolvimento do milho e T é a temperatura diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) mínima e máxima. A $f(T)$ foi calculada com a temperatura mínima e com a máxima e depois foi obtida a média aritmética das $f(T)$ s diárias, sendo esse valor usado como dado de entrada nas Equações 1, 2 e 3 (STRECK et al., 2008; 2009).

As temperaturas cardinais do milho para a fase de emergência foram assumidas como sendo $T_b=10,0$ $^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{Tot}}=29,3$ $^{\circ}\text{C}$ e $T_B=40,2$ $^{\circ}\text{C}$, e para as fases vegetativa e reprodutiva foram $T_b=6,2$ $^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{Tot}}=30,8$ $^{\circ}\text{C}$ e $T_B=42,0$ $^{\circ}\text{C}$ (SÁNCHEZ et al., 2014). Os coeficientes $r_{\max,e}$, $r_{\max,v}$ e $r_{\max,r}$ são dependentes do genótipo e foram estimados com dados observados na

semeadura de 13/12/2014 para todas as cultivares, sendo estimados para cada repetição e depois realizada a média para se obter o coeficiente de cada cultivar. Os coeficientes foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, que minimiza os resíduos entre valores observados e simulados de cada estágio (ERPEN et al., 2013). Para verificar se havia diferença entre os coeficientes das cultivares, estes foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para avaliar o desempenho do modelo foram utilizados, como dados independentes, aqueles coletados nas datas de semeadura 20/08/2013, 04/11/2013, 03/02/2014, 15/08/2014 e 07/01/2015 para as cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico-de-ouro’ e ‘AS 1573PRO’, e os dados das semeaduras de 15/08/2014 e 07/01/2015 para a cultivar ‘BRS Planalto’. Para testar o desempenho do modelo foram calculadas as estatísticas Raiz do quadrado médio do erro (RQME), Raiz do quadrado médio do erro normalizado (RQMEN), Bias e Coeficiente de Correlação (r) (STRECK et al., 2008; ERPEN et al., 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes $r_{\max,e}$ foram similares entre as cultivares, com apenas ‘Cinquentinha’ e ‘AS 1573PRO’ diferindo estatisticamente (Tabela 1). A cultivar ‘AS 1573PRO’ apresentou o maior coeficiente $r_{\max,e}$, o que indica que a emergência ocorre primeiro para essa cultivar. Entre os coeficientes $r_{\max,v}$ verificou-se diferença entre os valores estimados para todas as cultivares, resultado da diferença de ciclo entre elas (Tabela 1). ‘Cinquentinha’ apresentou o maior coeficiente $r_{\max,v}$, indicando precocidade em completar a fase vegetativa, enquanto que a ‘Bico de ouro’ apresentou o menor coeficiente, evidenciando sua maior duração de ciclo. Os valores de $r_{\max,r}$ observados variaram de 0,0213 e 0,0234, sendo os menores valores nas cultivares crioulas e os maiores nas melhoradas. O maior $r_{\max,r}$ foi encontrado para a ‘BRS Planalto’ e menor para a ‘Bico de ouro’ (Tabela 1). Em estudo

realizado por STRECK et al. (2008) com a cultivar melhorada ‘BRS Missões’ foi registrado valor intermediário de $r_{\max,r}$ (0,0289), próximo das cultivares melhoradas ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ (Tabela 1), o que pode indicar que possuem similaridade na duração da fase reprodutiva.

Segundo os resultados dos coeficientes estatísticos calculados, o modelo WE teve desempenho satisfatório na simulação de todas as fases de desenvolvimento (emergência, vegetativa e reprodutiva), tanto para as cultivares crioulas como para as melhoradas (Figura 1). Para a fase de emergência, o modelo WE apresentou pequena subestimativa das simulações, indicado pelo índice BIAS (-0,06), pequeno valor de RQME (1,4 dias) e de RQMEN (17,4%) e alto coeficiente de correlação r (0,93). Entre as datas de semeadura e cultivares, a data de EM estimada teve RQME variando de zero a três dias (Tabela 2). Na data de semeadura de 04/11/2013 não tem dados observados pois houve atraso na emergência das plantas no campo causado por elevada precipitação pluvial que ocorreu quatro dias após a semeadura (204,0 mm), e o modelo não leva esse efeito em consideração.

Para o espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) (Figura 1), o modelo apresentou pequena subestimativa com BIAS de 0,02, alto coeficiente de correlação r (0,97) e RQME de 4,5 dias para R1 e 4,3 dias para R6. Os valores da RQME observados foram menores que aqueles relatados por STRECK et al. (2009) para a cultivar melhorada ‘BRS Missões’, que variou de 0 a 5 dias para R1 e de 0 a 7 dias para a maturação.

Entre as datas de semeadura e as cultivares, os valores de RQME para EM foram na maioria das datas de 2 dias, com maior valor observado para a cultivar ‘AS 1573PRO’ na semeadura de 15/08/2014 com 3 dias (Tabela 2). Para R1 os maiores valores da RQME foram observados na semeadura de 03/02/2014 para ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’, e 15/08/2014 para ‘BRS Planalto’ (Tabela 2). Para o R6, o RQME foi baixo para todas as cultivares em todas as datas de semeadura, com exceção de ‘AS 1573PRO’ na data

de semeadura que apresentou RQME igual a 6 dias na semeadura de 20/08/2013 e 10 dias na de 04/11/2013 (Tabela 2). As datas de semeadura de 03/02/2014 e 07/01/2015 não foram consideradas nas simulações para R6, devido à ocorrência de três eventos meteorológicos que aceleraram a senescência das plantas: geada no dia 20/06/2014 (temperatura do ar de $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), e dois episódios de ventos fortes acompanhados de chuva nos dias 05/04/2015 (rajada de $9,2\text{ m s}^{-1}$ e precipitação de $48,0\text{ mm}$) e 17/04/2015 (rajada de $10,7\text{ m s}^{-1}$ e precipitação de $11,0\text{ mm}$), que resultaram em acamamento das plantas de todas as cultivares.

Analisando de maneira conjunta o desempenho do modelo WE (Figura 1), confirmou-se o seu desempenho satisfatório em simular a fenologia das cultivares crioulas e melhoradas em todas as datas de semeadura, com RQME geral de apenas 3,7 dias. Para a cultivar melhorada ‘BRS Missões’, STRECK et al. (2008) obtiveram melhor resultado para a fase de espigamento, com RQME geral de 2,7 dias para R1 e pior para R6, 4,8 dias. Para outras culturas, como o trigo de inverno, o modelo WE também apresentou bom desempenho com RQME de 3 a 8 dias (STRECK et al., 2003). Para genótipos brasileiros de trigo, ALBERTO et al. (2009) relataram RQME um pouco mais elevada, com até 12 dias. Em batata, STRECK et al. (2007) obtiveram RQME média de 10,4 dias, e em arroz cultivado e arroz vermelho, a RQME variou de 4,3 a 10,9 dias com o modelo WE (STRECK et al., 2011).

O desempenho adequado do modelo WE em simular a fenologia das culturas agrícolas é atribuído à resposta não linear descrita pela $f(T)$, que considera no seu cálculo as três temperaturas cardinais, combinando os efeitos do ambiente e da taxa máxima do desenvolvimento de forma multiplicativa, resultando em melhor representação das interações entre planta e o ambiente (STRECK et al., 2008; ERPEN et al., 2013).

CONCLUSÃO

Segundo as estatísticas empregadas, o modelo Wang e Engel foi capaz de estimar o desenvolvimento fenológico de cultivares crioulas e melhoradas de milho.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, C.M. et al. Modelagem do desenvolvimento de trigo considerando diferentes temperaturas cardinais e métodos de cálculo da função de resposta à temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, n.6, p.545-553, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n6/a01v44n6.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1590/S0100-204X2009000600001

BERG, T. Landraces and folk varieties: a conceptual reappraisal of terminology. **Euphytica**, v.166, n. 3, p. 423–430, nov. 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-008-9829-8#close>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1007/s10681-008-9829-8.

CQFS-RS/SC- COMISSÃO DE QUÍMICA E DE FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2004. 400p.

COSTA, L.C.; BARROS, A.H.C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação decrescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.75-82, 2001.

ERPEN, L. et al. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1230-1238, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n11/v17n11a15.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2015. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1590/S1415-43662013001100015.

IKEDA, S.F. et al. Interferências no consórcio de milho com *Urochloa* spp. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.10, p.1763-1770, out. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n10/a27513cr2012-0793.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1590/S0103-84782013005000119.

MORRIS, M. et al. Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: EVENSON, R. E.; GULLIN, D. **Crop variety improvement and its effect on productivity**: The impact of international agricultural research. Wallingford: UK, 2003. Cap. 8, p.135-158.

RITCHIE, S.W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 21p. (Special Report, 48).

SÁNCHEZ, B. et al. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. **Global Change Biology**, v.20, p. 408-417, 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12389/pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1111/gcb.12389.

STRECK, N.A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, p.139-150, 2003. v.115, p.139-150, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192302002289>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi: 10.1016/S0168-1923(02)00228-9.

STRECK, N.A.; et al. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum*L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.1-11, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192306002826>>. Acesso em: 01 jul. 2015. doi:10.1016/j.agrformet.2006.09.012.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS, UFRGS, 2008. 222p.

STRECK, N.A. et al. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.449-455, abr.

2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n4/a02v43n4.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2015. doi: 10.1590/S0100-204X2008000400002.

STRECK, N.A. et al. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, v.39, p.642-648, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n3/a89cr787.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2015. doi: 10.1590/S0103-84782008005000089.

STRECK, N.A. et al. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. **Transactions of the ASAE**, v.54, p.371-384, 2011. Acesso em: 01 ago. 2015. doi:10.13031/2013.36234.

VIANA, A.A.N. A Proteção de Cultivares no Contexto da Ordem Econômica Mundial. In: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Proteção de Cultivares no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS. 2011.202p.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, p.1-24, 1998.

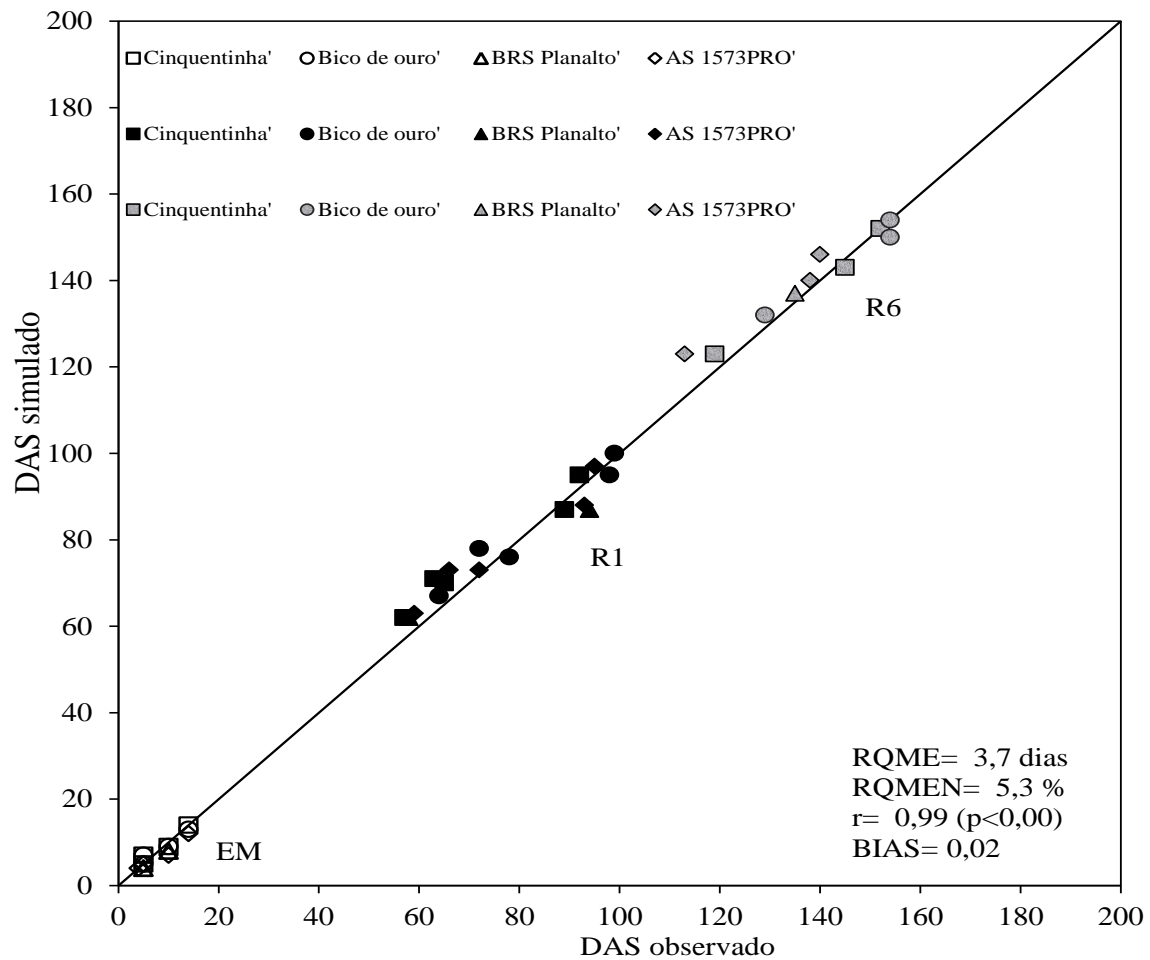


Figura 1 - Dias após a semeadura (DAS) simulado e observado da emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6), das cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’, e ‘AS 1573PRO’ nas datas de 15/08/2013, 03/02/2014, 20/08/2014 e 07/01/2015, ‘BRS Planalto’ nas datas de 20/08/2014 e 07/01/2015 usando o modelo Wang e Engel, Santa Maria, RS, Brasil. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: Coeficiente de Correlação, BIAS: índice Bias. EM: símbolos vazados, R1: símbolos preenchidos em preto e R6: símbolos preenchidos em cinza.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de taxa máxima de desenvolvimento das fases de semeadura-emergência ($r_{\max,e}$), emergência-espigamento ($r_{\max,v}$) e espigamento-maturidade fisiológica ($r_{\max,r}$) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’. Os valores entre parênteses são um desvio padrão da média.

Cultivar	$r_{\max,e}$ (dia ⁻¹)	$r_{\max,v}$ (dia ⁻¹)	$r_{\max,r}$ (dia ⁻¹)
‘Cinquentinha’	0,2400 (± 0,014) b	0,0234 (± 0,000) a	0,0264 (± 0,014) bc
‘Bico de ouro’	0,2723 (± 0,028) ab	0,0213 (± 0,000) c	0,0254 (± 0,004) c
‘BRS Planalto’	0,3067 (± 0,057) ab	0,0229 (± 0,000) ab	0,0298 (± 0,010) a
‘AS 1573PRO’	0,3411 (± 0,050) a	0,0223 (± 0,001) bc	0,0282 (± 0,001) ab
CV (%)	14,3	2,31	3,96

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV- coeficiente de variação.

Tabela 2 - Raiz do quadrado médio do erro (RQME) da simulação com o modelo Wang e Engel para emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, Santa Maria, RS, Brasil.

Cultivar	EM	R1	R6
RQME (dias)			
Data de semeadura: 20/08/2013			
‘Cinquentinha’	0	3	0
‘Bico de ouro’	1	1	0
‘BRS Planalto’	-	-	-
‘AS 1573PRO’	2	2	6
Data de semeadura: 04/11/2013			
‘Cinquentinha’	-	5	4
‘Bico de ouro’	-	2	3
‘BRS Planalto’	-	-	-
‘AS 1573PRO’	-	1	10
Data de semeadura: 03/02/2014			
‘Cinquentinha’	2	8	-
‘Bico de ouro’	2	6	-
‘BRS Planalto’	-	-	-
‘AS 1573PRO’	0	7	-
Data de semeadura: 15/08/2014			
‘Cinquentinha’	1	2	2
‘Bico de ouro’	1	3	4
‘BRS Planalto’	2	7	2

‘AS 1573PRO’	3	5	2
<hr/>			
Data de semeadura: 07/01/2015			
<hr/>			
‘Cinquentinha’	0	5	-
‘Bico de ouro’	0	3	-
‘BRS Planalto’	1	4	-
‘AS 1573PRO’	0	4	-
<hr/>			

5. DISCUSÃO

A emissão de folhas e os estágios de desenvolvimento são processos que ocorrem de forma interligada e independente na cultura do milho. Calibrar modelos para simular estes processos é fundamental para aperfeiçoar as práticas de manejo e outros modelos agrícolas que simulam processos mais complexos, como o rendimento. Estudar o uso da modelagem para cultivares de milho que possuem diferente variabilidade genética é uma maneira de verificar a amplitude dos modelos agrícolas. Na planta de milho a emissão de folhas está relacionada com a determinação dos estágios vegetativos da cultura. Na escala proposta por Ritchie et al. (1993) que tem sido a mais empregada para descrever os estágios das plantas de milho, o desenvolvimento da planta é dividido em estágios vegetativos, representados pela letra “V” acompanhada de um número e reprodutivos representados pela letra “R” seguida de um número. Em cada um desses estágios a planta está passando por transformações específicas que exigem práticas de manejo particulares que proporcionam a planta condições ideais para o crescimento e desenvolvimento visando boa produtividade.

Entre as práticas de manejo destaca-se o cuidado com as plantas daninhas, até por volta do estágio do estágio V3-V4, quando também é recomendado a aplicação da primeira adubação nitrogenada em cobertura (RITCHIE et al., 1993). A segunda adubação nitrogenada deve ser realizada quando a planta estiver com seis a oito folhas abertas (V6-V8) (MAGALHÃES et al., 2002). Estágio R1 exige mais atenção para o controle de lagartas e besouros que se alimentam dos estigmas (RITCHIE et al., 1993).

No Artigo 1 dessa dissertação é apresentada a calibração e teste de um modelo linear bastante consagrado e estudado na literatura, o modelo CSM-CERES-Maize inserido na plataforma DSSAT, e como alternativa a esse modelo o não linear Wang e Engel – WE (WANG; ENGEL, 1998), para simular a emissão de folhas para cultivares crioulas e melhoradas de milho. O modelo WE tanto para as cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’, como para as melhoradas ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’, apresentou melhor desempenho em simular a emissão de folhas. Apresentando raiz do quadrado médio do erro (RQME) geral menor que uma folha (0,9 folhas), enquanto que o modelo CERES apresentou RQME geral de 1,5 folhas.

Para a cultura do milho o modelo WE já havia mostrado melhor eficiência em simular a emissão de folhas quando comparado com o modelo da soma térmica para a cultivar melhorada ‘BRS Missões’ (STRECK et al., 2009; 2010). Para outras culturas agrícola como o arroz (STRECK et al., 2008), mandioca (SAMBORANHA et al., 2013), batata (STRECK et

al., 2007) e trigo (XUE et al., 2004), o modelo WE também já havia mostrado superioridade em simular a emissão de folhas.

No Artigo 2 dessa dissertação é apresentado a calibração e teste do modelo de Wang e Engel para simular a fenologia de cultivares crioulas e melhoradas de milho. O modelo linear não foi testado neste estudo porque em trabalho realizado com a cultivar melhorada de milho ‘BRS Missões’ o modelo WE já havia demonstrado melhor precisão para simular a fenologia. Foram considerados nas simulações os estágios de emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) segundo a escala de RITCHIE et al. (1993).

O modelo Wang e Engel foi eficiente na simulação de todas as fases de desenvolvimento (emergência, espigamento e maturidade fisiológica) tanto para as cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’, como para as cultivares melhoradas ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’ (Apêndice A). Para a fase de EM o modelo WE apresentou resultados muito bons, com RQME de apenas 1,4 dias, com pequena subestimativa das simulações (Apêndice A). Para as fases de espigamento e maturidade fisiológica o modelo WE apresentou valores de RQME muito próximos, com 4,5 dias para R1 (Apêndice A) e 4,3 para R6 (Apêndice A), também com pequena subestimativa para ambas as fases.

A melhor performance do modelo WE em simular a emissão de folhas e a fenologia é atribuída a resposta não linear que este possui em relação à temperatura do ar, através da combinação dos efeitos do ambiente e da taxa de aparecimento de folhas de forma multiplicativa.

Modelos que são capazes de simular a emissão de folhas e o momento de ocorrência dos estágios para cultivares de milho com diferente variabilidade genética são uma ferramenta com ampla aplicação, como para estudar a resposta dessas cultivares em cenários de estresses como a mudança climática, em semeaduras do cedo e tardias, e também podem ser acoplados em modelos que simulam o rendimento. Além de melhorar as práticas de manejo, a possibilidade de simular o momento de ocorrência dos estágios das plantas de milho ajuda no planejamento do agricultor para evitar prejuízos, como os causados por estiagem e com isso usar melhor os recursos naturais.

6. CONCLUSÕES

A simulação de emissão de folhas totais para cultivares crioulas e melhoradas de milho apresenta melhor desempenho com o emprego do modelo não linear de Wang e Engel em comparação ao modelo linear CSM-CERES-Maize.

Segundo as estatísticas empregadas, o modelo Wang e Engel foi capaz de estimar o desenvolvimento fenológico de cultivares crioulas e melhoradas de milho.

REFERÊNCIAS

AGROESTE. Online. Disponível na Internet:< <http://www.agroeste.com.br/hibridos-de-milho/1/safrinha-2015/5/as-1573>>. Acesso em: 01 de jul. 2015.

AMIR, J.; SINCLAIR, T.R. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. **Field Crops Research**, v.28, p.59-69, 1991.

ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA Y GARCIA, A.; TOJO-SOLER, C. M.; SILVA, D. de F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C. B. de; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. de. **Modelagem do crescimento de culturas: aplicações à cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Informe técnico, 91. Sete Lagoas, 65 p. 2009.

ARAÚJO, P. M.; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 589-593, 2002.

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. DA; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Análise econômica de estratégias de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes. **Scientia Agrária**, v.4, n.1-2, p.27-34, 2003.

ARNOLD, C.Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.76, p.682-692, 1960.

BARCET, S. F.; BOHN, L.; Ribeiro, T. N. P. V.; Vielmo, G. R. R. Câmbio de sementes e seus guardiões: experiências de conservação da agrobiodiversidade em dois municípios do Rio Grande do Sul. **Revista Agriculturas** - v. 4 - n. 3, 2007.

BEADLE, G. W. Teosinte and the origin of maize. **Journal of heredity**, v. 30, p. 245-247, 1939.

BERG, T. Landraces and folk varieties: a conceptual reappraisal of terminology. **Euphytica**, n.166, p.423-430, 2009.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **Agrometeorologia do Milho** In: Monteiro JE (Ed.) Agrometeorologia dos Cultivos: Fator meteorológico na produção agrícola, Brasília, INMET. 2009. 530p

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.

BIRCH, C. J., VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P E. L. Plant development and leaf area production in contrasting cultivars of maize grown in a cool temperature environment in the field. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, vol.19, p. 173-188, 2003.

BRIEGER, F.G.; BLUMENSCHNEIN, A. **Botânica e origem do milho**. In: Cultura e adubação do milho. São Paulo. Instituto Brasileiro de Potassa. 1966. Cap. III, p.81-107.

BRIEGER, F.G.; BLUMENSCHNEIN, A. **Botânica e origem do milho**. In: Viabilidade e limitações climáticas para a cultura do milho no Brasil. São Paulo. Instituto Brasileiro de Potassa. 1966. Cap. VII, p.225-247.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDINI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO Jr., M.J. Temperatura base para alface "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v.35, p.214-219, 1976.

CHANG, J. H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. 3. ed. Chicago: Aldine Publishing Company, 1974. 301 p.

CAMARA, R. J. **Cultivares crioulas de milho (*Zea mays*) em sistema de produção orgânico – Desempenho agrônômico das plantas e composição química das sementes**. 2005. 78f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2005.

COCCO, D.T. **Descritores morfoagronômicos em cultivares crioulas de milho conservadas on farm em Imabara - RS**. 2014. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

COELHO, D. T.; DALE, R. F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. **Agronomy Journal**, v.72, p.503-510, 1980.

CONAGIN, A.; JUNQUEIRA, A. A. B. **O milho no Brasil**. In: Cultura e Adubação do Milho. Páginas 21-77. Edit. Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, Brasil. 1966.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos 2014/2015, Oitavo Levantamento – Maio/2015**. Companhia Nacional de Abastecimento, – v. 1 – Brasília: Conab, 2015. Online. Disponível na Internet: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_05_13_08_46_55_boletim_graos_mai_2015.pdf>. Acesso em: 01 de jul. 2015.

DORWEILER, J.; STEC, A.; KERMICLE, J.; DOEBLEY, J. Teosinte glume architecture 1: A genetic locus controlling a key step in maize evolution. **Science**, v.262, p.233-235. 1993.

DUTRA, O. **Importação de sementes de olerícolas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Setor de Importação de Sementes, 6,7 e 8 de junho, 2005. Informações verbais obtidas em entrevista e levantamento quantitativo de sementes de olerícolas importadas no estado do Rio Grande do Sul realizados por Andréa Becker Delwing.

EMATER. Rio Grande do Sul/Ascar. **Relatório de atividades 2012**. Porto Alegre: Emater/RS - Ascar, 2012. 131p. Online. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/br/arquivos/sobre/Relatorio%20de%20Atividades-2012.pdf>>. Acesso: em 14 out. 2015.

EMYGDIO, B.M; PACHECO; C. A. P.; RIBEIRO, P. HE; GUIMARÃES; P. E.O.; MEIRELLES; A. F.; GAMA, E. E.G.; TEIXEIRA, M; C. C.; MACHADO, A. T.; FERRÃO, R. G.; GERAGE, A. C.; DENUCCI, S.; Arce, H. . **Desempenho das cultivares de milho**

BRS Planalto e BRS Missões nas safras 2003/04 e 2004/05. EMBRAPA, Passo Fundo, 2006. (Circular Técnica, 178)

ERPEN, L.; , STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E.M.; GABRIEL, L. F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1230–1238, 2013.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba. Agropecuária, 2000. 360p.

FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Boletín de Agricultura familiar de América Latina y el Caribe, Julio-Septiembre, 2012.** Online. Disponível na Internet: http://www.rlc.fao.org/uploads/media/baf_201209.pdf. Acesso em: 01 jul. 2015.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. DE; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, R C. DE; ARAÚJO NETO, R. A. de. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.322–328, 2014.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; RAMBO, L. Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, v.34, p.1341-1348, 2004.

FRUET, S. F. T. **Estudo de descritores morfoagronômicos em cinco cultivares crioulas de milho conservadas *in situ on farm* em Imabara - RS.** 2014. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. **Aspectos Econômicos da Produção e Utilização do Milho.** EMBRAPA Sete Lagoas, MG. 2006. 12p. (Circular Técnica, 74)

GILMORE Jr., E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, n.10, p.611-615, 1958.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103. p 137-157. 2000.

HOOGENBOOM, G., J.W.; JONES, P. W.; WILKENS, C.H.; PORTER, K. J.; BOOTE, L. A.; HUNT, U.; SINGH, J. L.; LIZASO, J. W.; WHITE, O.; URYASEV, F.S.; ROYCE, R.; OGOSHI, A. J.; GIJSMAN, G. Y.; TSUJI, J. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 2012.

HODGES, T. **Predicting crop phenology**. CRC, 1991. 233p.

MATZENAUER, R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARNI, N.A.; MALUF, J.R.T.; RADIN, B.; ANJOS, C.S. Época de semeadura para milho e soja visando à redução de risco por deficiência hídrica, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.2, p.191-200, 2005.

McMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.87, n.4, p.291-300, 1997.

MACHADO, A. T.; SANTILLI, J.; MAGALHÃES, R. **A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais e jurídicas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008. (Texto para discussão, 34).

MACHADO, A. T.; MACHADO, C. T. T.; NASS, L. L. Manejo da diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, RS. V. 6, n. 1. p. 127-136, 2011.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. LM.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. p. 65. (Circular Técnica n. 22).

MAPA. **Milho**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília: MAPA, 2010. Online. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acesso em: 11 jul. 2015.

MATTHEWS, R.B., STEPHENS, W. HESS, T. MASON T., GRAVES. A.R. **Applications of crop/soil simulation models in developing countries**. Institute of Water and Environment, Cranfield University, United Kingdom . p. 181, 2000.

MENEGUETTI, G. A. Girardi, J., Reginatto, J. Milho crioulo: tecnologia viável e sustentável. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.3, n.1, p.12-17, 2002.

MORRIS, M.; MEKURIA, M.; GERPACIO, R. (2003) Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: Evenson, R. E.; Gullin, D. **Crop variety improvement and its effect on productivity: The impact of international agricultural research**. Wallingford, UK, 2003. Cap 7. P. 135–158.

RAPOSO, F. V. **Seleção recorrente recíproca em populações derivadas de híbridos simples de milho**. 2002. 106f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1993. 21p. (Special Report, 48).

SÁNCHEZ, B.; RASMUSSEN, A.; PORTER, J. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. **Global Change Biology**, v. 20, p. 408-417, 2014.

SANDRI, C.; TOFANELLI, M. B. D. Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. **Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG)** v. 38, p. 59-61, 2008.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. da; HORN, D.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006.

SAMBORANHA, F. K.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 815-824, out-dez, 2013.

SCHUSTER, I. Fluxo gênico e coexistência de lavouras com espécies transgênicas e convencionais. **Informativo ABRATES**. vol.23, nº.1, 2013.

STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P. S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, n.3-4, p. 139-150, 2003.

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

STRECK, N. A.; LAGO, I; PAULA, F. L. M. DE; BISOGNIN, D. A.; HELDWEIN, A.B.; improving predictions of leaf appearance in field grown potato. **Scientia Agricola**, v.64, n.1, p.12-18, 2007.

STRECK, N. A. ; BOSCO, L. C. ; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal** , v. 100, p. 490-501, 2008.

STRECK, N. A.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K.; LAGO, I.; SCHWANTES, A. P.; SCHONS, A. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, v.39, p.642-648, 2009a.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F. K.; GABRIEL, L. F.; SCHWANTES, A. P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, v. 39, p. 224-227, 2009b.

STRECK, N. A. ; GABRIEL, L. F. ; BUSKE, T. C. ; LAGO, I. ; SAMBORANHA, F. K. ; SCHWANTES, A. P. Simulating leaf appearance in a maize variety. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 384-393, 2010.

TEIXEIRA, F. F. **Milho cultivado no Brasil e banco de germoplasma – uma forma de classificação da variabilidade genética**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 65. (Comunicado Técnico n. 155).

TRENTIN, R. ; SCHREIBER, F. ; STRECK, N. A. ; BURIOL, G. A. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2464-2470, 2008.

USDA [United State Department of Agriculture]. Disponível em: <<http://www.usdabrazil.org.br/home/>>. Acesso em: 01 de jul. 2015.

VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

VIANA, A. A. N. **A Proteção de Cultivares no Contexto da Ordem Econômica Mundial**. In: Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Proteção de Cultivares no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS. 2011.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, p.1-24, 1998.

WILHELM, W. W.; McMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 1-3, 1995.

WHITE, J. W. **Modeling temperature response in wheat and maize**. El Batán, Mexico: CIMMYT – International Maize and Wheat Improvement Center, 2001. 60p. (Series 03-01).

XUE, Q. et al. Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non – linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.175, n.3, p.261-270, 2004.

YAN, W.; HUNT, L. A. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, v.84, p.607-614, 1999.

ZARILLO, S.; PEARSALL, D. M.; RAYMOND, J. S.; TISDALE, M. A.; QUON, D. J. Directly dated starch residues document early formative maize (*Zea mays* L.) in tropical Ecuador. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, p. 5006-5011. 2008.

ANEXOS

Anexo A – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável filocrono (°C dia folha-1) para a emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’.

Arquivo analisado:

C:\Users\Josana\Desktop\Sem título 1.dbf

Variável analisada: N2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
N1	3	18.272497	6.090832	3.367	0.0685
erro	9	16.279933	1.808881		
Total corrigido	12	34.552431			
CV (%) =	3.24				
Média geral:	41.5576923		Número de observações:	13	

Teste Tukey para a FV N1

DMS: 3,3206460773689 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 3,2
 Erro padrão: 0,751848031827551

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	39.950000	a1
4	41.823333	a1
2	41.860000	a1
1	43.133333	a1

Anexo B – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável TAFmax (folhas dia-1) para a emissão de folhas totais das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’.

Arquivo analisado:

C:\Users\Josana\Desktop\Sem título 1.dbf

Variável analisada: N2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
N1	3	0.002082	0.000694	1.504	0.2786
erro	9	0.004152	0.000461		
Total corrigido	12	0.006235			
CV (%) =	3.24				
Média geral:	0.6635692	Número de observações:	13		

Teste Tukey para a FV N1

DMS: 0,0530317310037717 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 3,2
 Erro padrão: 0,0120072424614388

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	0.643033 a1	
4	0.659667 a1	
3	0.673425 a1	
2	0.674867 a1	

Anexo C – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max,e}$ (dia) para a fase semeadura-emergência das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’.

Arquivo analisado:

C:\Users\Josana\Desktop\SEEM.dbf

Variável analisada: N2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
N1	3	0.022770	0.007590	4.414	0.0260
erro	12	0.020632	0.001719		
Total corrigido	15	0.043402			
CV (%) =	14.30				
Média geral:	0.2900188	Número de observações:	16		

Teste Tukey para a FV N1

DMS: 0,0870792197991706 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,0207323356036732

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	0.240050	a1
2	0.272300	a1 a2
3	0.306675	a1 a2
4	0.341050	a2

Anexo D – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max,v}$ (dia) para a fase emergência-espigamento das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’.

Arquivo analisado:

C:\Users\Josana\Desktop\EMR1.dbf

Variável analisada: N2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
N1	3	0.000010	0.000003	12.086	0.0006
erro	12	0.000003	2.70000000E-0007		
Total corrigido	15	0.000013			
CV (%) =	2.31				
Média geral:	0.0224750	Número de observações:		16	

Teste Tukey para a FV N1

DMS: 0,0010912347445473 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,000259807621135332

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.021300	a1
4	0.022300	a1 a2
3	0.022900	a2 a3
1	0.023400	a3

Anexo E – Análise de variância (ANOVA) da análise estatística realizada para a variável coeficiente taxa máxima de desenvolvimento diário $r_{\max}'_r$ (dia) para a fase espigmento-maturidade fisiológica das cultivares de milho ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’, ‘BRS Planalto’ e ‘AS 1573PRO’.

Arquivo analisado:

C:\Users\ Josana\Desktop\R1R6.dbf

Variável analisada: N2

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
N1	3	0.000046	0.000015	12.879	0.0005
erro	12	0.000014	0.000001		
Total corrigido	15	0.000060			
CV (%) =	3.96				
Média geral:	0.0274375	Número de observações:	16		

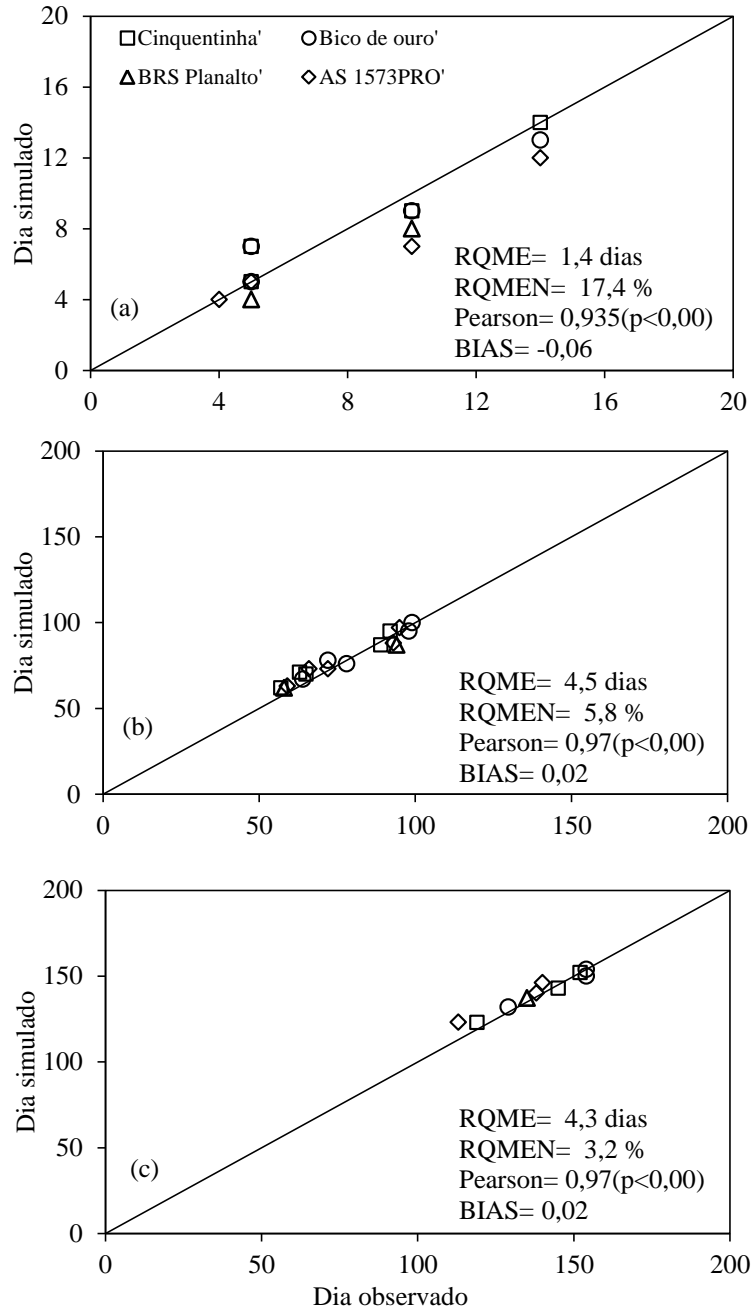
Teste Tukey para a FV N1

DMS: 0,00228328619189149 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,000543618279064762

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.025400	a1
1	0.026350	a1 a2
4	0.028225	a2 a3
3	0.029775	a3

APÊNDICE



Apêndice A- Simulado e observado em dias após a semeadura (DAS) para a fase de emergência (a), florescimento feminino (b) e maturidade fisiológica (c), para as cultivares 'Cinquentinha', 'Bico de ouro' e 'AS 1573PRO' nas datas de 15/08/2013, 03/02/2014, 20/08/2014 e 07/01/2015, 'BRS Planalto' nas datas de 20/08/2014 e 07/01/2015 usando o modelo Wang e Engel, Santa Maria, RS, Brasil. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias.