

Modelagem do desenvolvimento de cultivares crioulas e melhoradas de milho

Josana Andreia Langner⁽¹⁾; Nereu Augusto Streck⁽²⁾; Isabel Lago⁽²⁾; Lúcio Gabriel Scheffel⁽⁴⁾; Anderson Haas Poersch⁽⁵⁾; Taís Slim⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS. E-mail: langnerja@gmail.com; ⁽²⁾ Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁴⁾ Aluno de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista FIPE; ⁽⁵⁾ Aluno de Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista FIPE; ⁽⁶⁾ Aluna de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO: Um modelo matemático capaz de simular os estágios de desenvolvimento de cultivares de milho com diferente variabilidade genética é uma ferramenta útil para o meio científico, agricultores e extensionistas. O objetivo deste trabalho foi testar o desempenho do modelo de Wang e Engel (WE) para estimar os principais estágios de desenvolvimento de cultivares crioulas e melhoradas de milho em diferentes datas de semeadura. O modelo foi calibrado com dados coletados em experimento de campo semeado em 13/12/2014, e testado 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 experimental 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’. Conclui-se que o modelo WE estimou adequadamente os estágios de desenvolvimento (EM, R1 e R6) de cultivares crioulas e melhoradas de milho, com um erro médio geral de 3,7 dias.

Termos de indexação: *Zea mays* L., simulação, estágios de desenvolvimento.

INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura que apresenta grande importância devido ao seu elevado potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, o que permite seu uso em diferentes setores, desde alimentação animal e humana ou mediante industrialização, até a produção de biocombustíveis. 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 possuem características 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 obtidas em um programa formal de melhoramento genético, sendo comercializadas sob denominação registrada e/ou sob proteção intelectual (Viana, 2011).

Os modelos que estimam os estágios de desenvolvimento das culturas são ferramentas que podem ser usadas para auxiliar nas práticas de manejo, como a escolha da melhor data de semeadura para as plantas se desenvolverem em melhores condições ambientais, e também podem auxiliar na escolha de cultivares que melhor se adaptam em cada região (Alberto et al., 2009). O objetivo deste trabalho foi testar o desempenho do modelo de Wang e Engel (WE) para estimar os principais estágios de desenvolvimento de cultivares crioulas e melhoradas de milho em diferentes datas de semeadura.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados usados neste estudo são provenientes de experimentos conduzidos em campo, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, (latitude: 29° 43’S, longitude: 53° 43’W e altitude: 95 m). Os experimentos foram realizados com a cultura do milho, em dois anos agrícolas: 2013/2014 e 2014/2015 em diferentes datas de semeadura. 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 e a adubação foram realizadas

conforme indicações da cultura (CQFS-RS/SC, 2004). 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. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e entre plantas de 0,20 m. No ano 2013/2014 foram utilizadas duas cultivares crioulas, ‘Cinquentinha’ e ‘Bico-de-ouro’, e uma melhorada o híbrido ‘AS 1573PRO’ nas datas de semeadura 20/08/2013, 04/11/2013 e 03/02/2014. No ano 2014/2015 foi acrescentado a cultivar melhorada do tipo variedade de polinização aberta (VPA) ‘BRS Planalto’ nas datas de semeadura 15/08/2014, 13/12/2014, 07/01/2015. A data de 13/12/2014 foi usada para calibrar o modelo WE e as demais datas para avaliar seu desempenho.

A data de 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 que nas melhoradas foram marcadas 15 plantas. 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, por meio da visualização da senescência total. Essa associação foi verificada em plantas da bordadura que foram destruídas para observar a ocorrência do aparecimento da camada escura no grão.

Para as estimativas, 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 maturidade 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 para as fases são (Wang & Engel, 1998): emergência (SE-EM): $r = r_{\max,e} \cdot f(T)$ {dia⁻¹}; vegetativa (EM-R1): $r = r_{\max,v} \cdot f(T)$ {dia⁻¹}; e reprodutiva (R1-R6): $r = r_{\max,r} \cdot f(T)$ {dia⁻¹}. em que: $r_{\max,e}$, $r_{\max,v}$ e $r_{\max,r}$ são as taxas máximas de desenvolvimento diário (dia⁻¹) para as fases de emergência, vegetativa e reprodutiva, respectivamente, e $f(T)$ é a função de resposta à

temperatura do ar, que varia de zero a um (Wang & Engel, 1998) e é igual a:

$$f(T) = \frac{2(T - T_b)^{\alpha} [(T_{ot} - T_b)]^{\alpha} - (T - T_b)^{2\alpha}}{(T_{ot} - T_b)^{2\alpha}}$$

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

$$\alpha = \ln(2) / \ln[(T_B - T_b) / (T_{ot} - T_b)]$$

em que: T_b , T_{ot} e T_B são as temperaturas cardinais (°C) (basal inferior, ótima e basal superior, respectivamente) de desenvolvimento do milho e T é a temperatura mínima ou máxima diária do ar (°C).

As temperaturas cardinais do milho para a fase de emergência foram assumidas como sendo $T_b = 10,0$ °C, $T_{ot} = 29,3$ °C e $T_B = 40,2$ °C, e para as fases vegetativa e reprodutiva foram $T_b = 6,2$ °C, $T_{ot} = 30,8$ °C e $T_B = 42,0$ °C (Sánchez et al., 2014). As taxas $r_{\max,e}$, $r_{\max,v}$ e $r_{\max,r}$ são dependentes do genótipo e foram estimadas com dados observados na semeadura de 13/12/2014 para todas as cultivares.

A avaliação do modelo foi realizada usando as estatísticas Raiz do quadrado médio do erro (RQME), Raiz do quadrado médio do erro normalizado (RQMEN), Índice BIAS e o Coeficiente de Correlação (r) (Loague & Green, 1991; Erpen et al., 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o uso do modelo WE foi estimado, em dias após a semeadura, a data de ocorrência dos estágios de emergência (EM), espigamento (R1) e maturidade fisiológica (R6) para as quatro cultivares nas cinco datas de semeadura. Os resultados das estimativas foram comparados aos dados observados e estão representados na **Figura 1**. O modelo teve desempenho satisfatório com os valores estimados e observados próximos da linha 1:1, para os três estágios de desenvolvimento, tanto para as cultivares crioulas quanto para as melhoradas.

As estatísticas usadas confirmam o bom desempenho do modelo WE em estimar a data de ocorrência dos estágios EM, R1 e R6 (**Figura 1**). O índice BIAS foi próximo de zero e positivo (0,02), o que indica que o modelo apresentou pequena superestimava. A correlação entre os dados simulados e observados foi alta ($r = 0,99$). De acordo com a estatística RQME, houve erro médio de 3,7 dias para estimar os três estágios das cultivares de milho utilizadas. Em trabalho utilizando o modelo WE com a VPA ‘BRS Missões’ foi observado um RQME de 2,7 dias para R1 e 4,8 dias para R6, que na média representa 3,8 dias, erro próximo ao observado neste estudo (Streck et al., 2008; Streck et al., 2009). Um erro de estimativa de

3,7 dias pode ser considerado pequeno em relação ao ciclo das cultivares que varia de aproximadamente 123 a 154 dias da semeadura até a maturidade fisiológica. Com isso, pode-se considerar que o modelo WE apresenta desempenho satisfatório em estimar os estágios de desenvolvimento das cultivares de milho. Isto foi confirmado pelo resultado da estatística RQMEN que indicou um erro de 5,3 % na estimativa dos estágios de desenvolvimento (**Figura 1**).

CONCLUSÕES

O modelo Wang e Engel estima adequadamente os estágios de desenvolvimento de cultivares crioulas e melhoradas de milho.

REFERÊNCIAS

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.

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.

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.

LOAGUE, K.; GREEN, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.

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**

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.

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.

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.

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

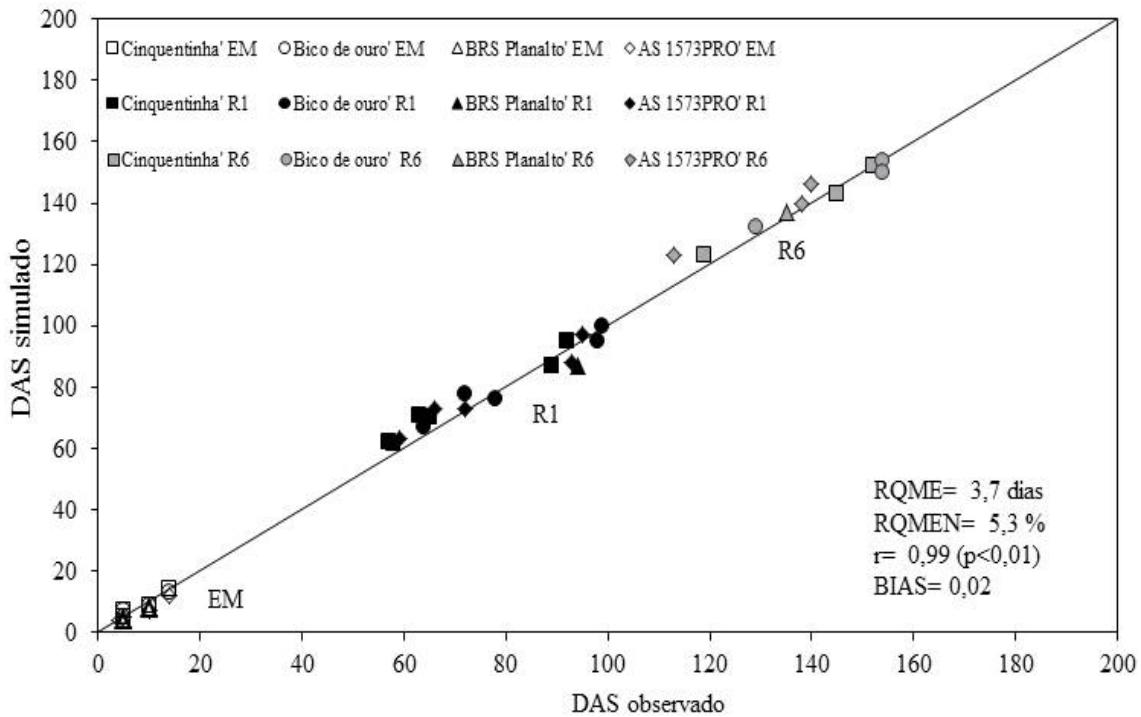


Figura 1. Dias após a sementeira (DAS) estimado com o modelo Wang e Engel e observado, para a emergência (EM), o espigamento (R1) e a maturidade fisiológica (R6), das cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’, nas datas de sementeira de 20/08/2013, 04/11/2013, 03/02/2014, 15/08/2014 e 07/01/2015, e ‘BRS Planalto’, nas datas de sementeira de 15/08/2014 e 07/01/2015, 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.