

SIMULANDO O DESENVOLVIMENTO DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) A CAMPO¹

Fabiana Luiza Matielo de Paula², Nereu Augusto Streck³, Adalberto Luiz de Paula², Jacso Dellai⁴, Isabel Lago⁵

ABSTRACT - Developmental models can help in breeding programs, to control pests and disease, in managing fertilizers application and programming harvest of the crop. The objective of this work was to construct and evaluate a mathematical model to simulate potato development that is superior to the existent models, which use thermal time, both biologically and from a simulation point of view. Field experiments were carried out at Santa Maria RS, Brazil, with fifteen planting date during 2003 and 2004. The proposed developmental model was superior to the thermal time approach with an average RMSE of 10.41 days. Model predictions were better for earlier developmental stages (tuber initiation, RMSE=3.7 days), than for later developmental stages (harvest, RMSE= 14.02 days). We concluded that the proposed model is superior to the thermal time approach, which is currently used in the models described in the literature.

INTRODUÇÃO

A temperatura e o fotoperíodo são considerados os dois principais fatores abióticos que governam o desenvolvimento da cultura da batata. Existem vários modelos de simulação de desenvolvimento da batata na literatura, Estes modelos de batata usam os métodos aditivos para descrever a relação entre desenvolvimento vegetal e fatores do ambiente e o conceito da soma térmica. Métodos multiplicativos representam as interações entre fatores ecológicos sobre o desenvolvimento vegetal de forma mais realística (Streck et al., 2003). O método da soma térmica pode ser superior ao uso de dias do calendário civil (dia do ano ou dias após o plantio) como medida de tempo biológico (Gilmore & Rogers, 1958), mas certamente não é o método mais adequado do ponto de vista biológico para descrever o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento das culturas, devido à pressuposição de que a resposta da taxa de desenvolvimento é linear à temperatura.

Uma outra desvantagem dos modelos de batata existentes é que não consideram o efeito do fotoperíodo sobre o desenvolvimento e sabe-se que muitos genótipos de batata respondem ao fotoperíodo.

O objetivo deste trabalho foi construir e avaliar um modelo matemático para simular o desenvolvimento da cultura da batata, que seja superior aos modelos existentes que utilizam a soma térmica, tanto do ponto de vista biológico quanto do ponto de vista da predição da data de ocorrência dos principais estágios de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

No modelo proposto, o ciclo de desenvolvimento da batata é dividido em três fases: fase vegetativa, que vai da emergência (EM) ao início

da tuberação (IT); a fase de tuberação, que vai do início da tuberação ao início da senescência (IS); e a fase de senescência, que vai do início da senescência a colheita (CO) (Figura 1). O primeiro passo do modelo é calcular a taxa diária de desenvolvimento (r). Para o cálculo do estágio de desenvolvimento (DS) em que a planta se encontra, acumula-se os valores da taxa diária de desenvolvimento, ou seja $DS = \sum r$. Na EM $DS = 0$, no IT $DS = 1$, no IS $DS = 1,8$ e na CO $DS = 2$. A forma geral do modelo é:

$$r = r_{\max,v} \cdot f(T) \cdot f(P) \quad (1)$$

para a fase vegetativa (EM-IT)

$$r = r_{\max,t} \cdot f(T) \quad (2)$$

para a fase de tuberação (IT-IS)

$$r = r_{\max,s} \cdot f(T) \quad (3)$$

para fase de senescência (IS-CO)

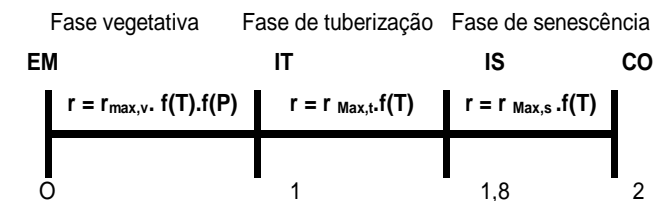


Figura 1 - Representação esquemática do ciclo de desenvolvimento da batata e do modelo matemático proposto. EM= emergência, IT= início da tuberação, IS= início da senescência, CO= Colheita. Santa Maria, RS, 2003-2004.

em que r é a taxa diária de desenvolvimento (dia^{-1}), $r_{\max,v}$, $r_{\max,t}$ e $r_{\max,s}$ são as taxas máximas diárias de desenvolvimento (dia^{-1}) na fase vegetativa, tuberação e senescência, respectivamente, e $f(T)$ e $f(P)$ são funções de resposta à temperatura e ao fotoperíodo variando de 0 a 1, respectivamente.

A função de resposta à temperatura [$f(T)$] é uma função beta definida como:

$$F(T) = \frac{[2(T - T_{\min})^\alpha (T_{\text{opt}} - T_{\min})^\alpha - (T - T_{\min})^{2\alpha}]}{(T_{\text{opt}} - T_{\min})^{2\alpha}} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln \left[\frac{(T_{\max} - T_{\min})}{(T_{\text{opt}} - T_{\min})} \right]} \quad (5)$$

em que T_{\min} , T_{opt} e T_{\max} são as temperaturas cardinais de desenvolvimento e T é a temperatura média diária calculada pela média aritmética da temperatura mínima e máxima diária. Na fase vegetativa a T_{\min} foi definida como 4°C e T_{opt} e T_{\max} foram definidos como 15 e 28°C, respectivamente. Na fase de tuberação as temperaturas cardinais T_{\min} , T_{opt} e T_{\max} , foram 7, 21 e 30°C, respectivamente. Não foram encontrados na literatura valores para as temperaturas cardinais de desenvolvimento durante a senescência das plantas. Baseado em discussões com pessoas ligadas a produção de batata, assumiu-se que na fase de senescência as temperaturas cardinais são as mesmas da primeira fase (EM-IT), ou seja, $T_b = 4^\circ\text{C}$, $T_{\text{opt}} = 15^\circ\text{C}$ e $T_{\max} = 28^\circ\text{C}$. Em espécies de verão como milho e a soja, as temperaturas cardinais de

¹ Trabalho parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), RS, Brasil.

² Aluno da Pós-Graduação, Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), SP, Brasil (fmppaula@esalq.usp.br)

³ Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. (nstreck1@smail.ufsm.br)

⁴ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista da CAPES.

⁵ Aluna da Graduação em Agronomia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista BIC/FAPERGS.

desenvolvimento são menores no final do ciclo em relação às fases iniciais e intermediárias.

A função de resposta ao fotoperíodo $[f(P)]$ é uma função exponencial negativa.

$$f(P) = \exp[-\omega(P-P_c)] \quad (6)$$

onde: ω é o coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (h^{-1}), que depende da cultivar, P é o fotoperíodo (h) e P_c é o fotoperíodo crítico, abaixo do qual a resposta é máxima (h). O fotoperíodo (P) incluindo o crepúsculo civil (quando o sol está entre 0 a 6° abaixo do horizonte), foi calculado com o algoritmo de Kiesling (1982). O valor estimado de P_c foi 10,7 h e o valor estimado de ω foi 0,0645 h^{-1} para cultivar Asterix.

A estimativa dos valores de $r_{max,v}$, $r_{max,t}$, $r_{max,s}$, ω e P_c foi com o procedimento SAS-NLIN (SAS Institute, Inc., 2001) usando-se o método de Marquardt. Para estimativa dos coeficientes do modelo foram utilizados os dados de temperatura e fotoperíodo e as datas de EM, IT, IS e CO de seis épocas de plantio. Os valores estimados de $r_{max,v}$, $r_{max,t}$, $r_{max,s}$ foram 0,0793, 0,0260 e 0,012074/dia, respectivamente. Os experimentos à campo foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (latitude: 29° 43'S, longitude: 53° 41'W e altitude: 95 m). Foram realizadas 15 épocas de plantio, 9 épocas no ano de 2003 (21/01; 12/02; 28/02; 27/03; 12/08; 15/09; 15/10; 20/11 e 24/12) e 6 épocas no ano de 2004 (28/01; 27/02; 26/03; 26/04; 31/05 e 26/08). O delineamento utilizado foi blocos ao acaso, com 4 repetições, e as parcelas tinham 3,0 x 3,0 m e foram constituídas por 4 linhas de plantas distanciadas 0,75 m entre linhas, 0,33 m entre plantas.

Os dados de temperatura mínima e máxima diária do ar a 1,5m no interior do abrigo meteorológico durante o período experimental foram coletados na Estação Climatológica Principal pertencente ao 8º DISME/INMET localizada a aproximadamente 200 metros da área experimental.

Para avaliação do modelo foram comparadas as datas de IT, IS e CO simuladas e observadas nas épocas 1, 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 que são dados independentes.

O modelo proposto foi comparado com o método da soma térmica (STd), calculada por três métodos (Gilmore & Rogers, 1958; Arnold, 1960):

Método 1: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ (7)

Método 2: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia, se $T_{med}<T_b$ então $T_{med}=T_b$ e se $T_{med}>T_{tot}$, então $T_{med}=T_{tot}$ (8)

Método 3: $STd=(T_{med}-T_b)$. 1 dia quando $T_b<T_{med} \leq T_{tot}$ e

$$ST=(T_{tot}-T_b).(T_{max}-T_{med})/(T_{max}-T_{tot}) \quad \text{quando} \quad T_{tot}<T_{med} \leq T_{max} \quad (9)$$

onde: T_b é a temperatura base, T_{tot} é a temperatura ótima e T_{max} é a temperatura máxima para o desenvolvimento da batata, as mesmas consideradas no modelo para as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento

As mesmas seis épocas usadas para estimativa dos coeficientes do modelo foram utilizadas para obter os valores de soma térmica para as três fases do desenvolvimento da batata.

A estatística utilizada para avaliar a performance do modelo e dos métodos da soma

térmica foi a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE):

$$RMSE = [\sum(p_i - o_i)^2 / N]^{0.5} \quad (10)$$

em que: p_i = dados simulados, o_i = dados independentes observados e N = número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A predição dos principais estágios de desenvolvimento da batata cv. Asterix, a campo foi melhorada com o modelo de desenvolvimento proposto neste trabalho em relação aos métodos da soma térmica (Figura 1). A RMSE (Raiz quadrada do quadrado médio do erro) para todos os estágios de desenvolvimento foi 10,41 dias, sendo superior ao método soma térmica em 55,46%. A melhora na predição em relação ao método da soma térmica foi principalmente na fase de EM-IT com RMSE de 3,7 dias.

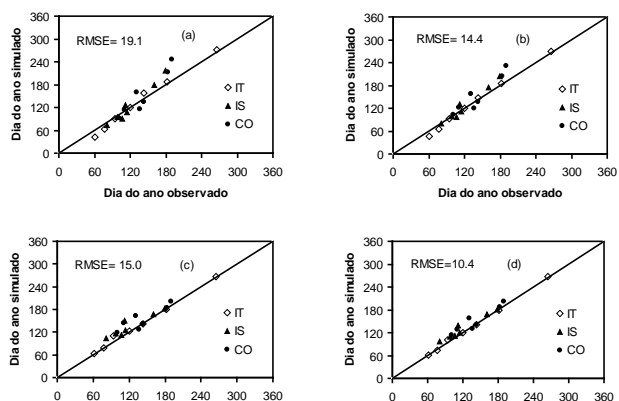


Figura 1 - Dia do ano simulado versus observado, para início de tuberculização (IT), início de senescência (IS) e colheita (CO) da batata cultivar Asterix, pelo método 1 (a), método 2 (b), método 3 (c) de cálculo da Soma Térmica, e pelo modelo de desenvolvimento proposto neste trabalho (d). Santa Maria, RS, 2003-2004.

REFERÊNCIAS

- Arnold, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences, v.76, n.1, p.682-692, 1960.
- Gilmore, E.C.Jr., Rogers, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, v.50, n.10, p.611-615, 1958.
- Kiesling, T. C. calculation of the length of the day. Agronomy Journal, v.74, p.758-759, 1982.
- 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, v.115, n.3-4, p.139-150, 2003.