

## SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO DO FEIJOEIRO

Renata Gonçalves Mota<sup>1</sup>, Eduardo Yasuji Chibana<sup>2</sup>, Rogério Teixeira de Faria<sup>3</sup> André Souza Vieira<sup>2</sup>

**ABSTRACT** – Prediction of crop phenological is needed for simulation of crop growth and also to anticipate the plan of agricultural practices. This work presents a computational program for prediction of the main phenological stages of a bean plant. It is a module, to be run together with other modules that simulate crop growth and water balance, as part of a crop growth model. The developmental progress is a function of temperature, photoperiod, water and growth characteristics of the plant, defined as genetic coefficients of the cultivar to be simulated. The test of the program showed that temporal representation of phases was in close agreement with the phenological development of the crop in the field during the period of test.

### INTRODUÇÃO

Modelos fenológicos predizem a época de ocorrência de eventos relacionados com o desenvolvimento do organismo. Em plantas, o ciclo de desenvolvimento é definido em subperíodos denominados fases fenológicas e a mudança de uma fase a outra é chamada de estágio fenológico. A definição correta das fases fenológicas do ciclo de desenvolvimento da cultura, bem com a estimativa acurada das datas de ocorrência dos estádios fenológicos e duração das fases, é de fundamental importância para a simulação dos processos de formação e crescimento de órgãos das plantas e para estudos de zoneamento agrícola. A previsão do desenvolvimento vegetativo é também de grande valia para se definir práticas agrícolas, como adubações de cobertura, tratamentos fitossanitários, ou na observação de um evento importante qualquer (uma geada ou um estresse hídrico), associados a estádios bem definidos.

Sabe-se de longa data que os elementos climáticos tais como temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica afetam a fenologia das plantas. O efeito de cada variável climática pode ser predominante em determinada fase ou combinado com um ou mais elementos, dificultando a predição da fenologia.

Descreve-se, neste trabalho, um programa computacional para a predição da época de ocorrência dos principais estádios fenológicos do feijoeiro. Esse programa constitui um módulo, juntamente com outros módulos que compõem um modelo de estimativa do balanço hídrico e produtividade do cultivo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O ciclo fenológico do feijoeiro foi adaptado ao modelo descrito para a soja por Fehr & Caviness (1977). O ciclo da cultura foi restrito a sete fases apresentadas na Figura 1.

Nº	FASE	PARÂMETRO	REQUERIMENTO	TB	TO1	TO2	TMax	Acumulado
1	SEMIANHA - INÍCIO DA GERMINAÇÃO	LIMITAÇÃO	MAIOR QUE 30					
2	INÍCIO DA GERMINAÇÃO - EMERGÊNCIA	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 5					
3	EMERGÊNCIA - FLORESCIMENTO	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 39					
4	FLORESCIMENTO - FASEM	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 5					
5	FLORESCIMENTO - SEMENTE	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 11					
6	SEMENTE - MATURAÇÃO	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 35					
7	MATURAÇÃO - COLHEITA	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 7					

**UMIDADE**  
Período: MÉDIA, Dias: 1, Condição: MAIOR QUE, Valor crítico: 30

**Dias-Fototérmicos (parâmetros adicionais)**  
TB: 10, TO1: 18, TO2: 30, TMax: 45, Acumulado: 39  
Fotoperíodo: X1, X2  
Hídrica: Tipo, Taxa: 20  
Retarda: RETARDA

Figura 1. Formulário de fases fenológicas (a) e critérios para progressão das fases fenológicas n<sup>o</sup>1 (b) e 3 (c)

Na simulação do desenvolvimento fenológico, assume-se a ocorrência de um determinado estágio quando o progresso de desenvolvimento durante uma determinada fase atinge o valor crítico requerido para aquela fase (DCi), conforme o método usado nos modelos do sistema DSSAT (Tsuiji et al., 1994). O progresso de desenvolvimento é estimado pela integração ou soma da taxa de desenvolvimento durante o tempo considerado. A taxa de progresso (dP/dt) ao longo da fase é calculada pelo produto entre a taxa de desenvolvimento ótimo (D) e fatores modificadores dessa taxa, que são representados em função da temperatura, f(T), fotoperíodo, g(F), disponibilidade hídrica, z(H), e/ou outros fatores que podem ser definidos pelo usuário, w(G), ou seja:

$$\frac{dP}{dt} = D f(T) g(F) z(H) w(G) \dots\dots\dots(1)$$

Na Equação 1 o passo de cálculo (dt) corresponde a um dia e D é igual a 1, sendo sua unidade é denominada dia fenológico. Assumindo-se o valor unitário para as funções f(T), g(F), z(H) e w(G) quando o cultivo se encontra sob condições ótimas de desenvolvimento, o valor requerido para mudança de fase torna-se igual ao número de dias do calendário para atingir o estágio em questão. Sob condições sub-ótimas de desenvolvimento as funções da Equação 1 assumem valores diferentes de 1, podendo acelerar ou retardar o desenvolvimento do cultivo, conforme descrito a seguir.

A função temperatura f(T) decresce de 1 a 0 em resposta linear a quatro valores de temperatura (Figura 2), sendo um valor definido pela temperatura mínima para iniciar o desenvolvimento (TB), dois valores que definem a taxa ótima de progresso fenológico (TO1 e TO2) e um valor correspondente à temperatura em que se encerra o desenvolvimento (TM). Esses valores são considerados como sendo características genéticas da cultivar e podem ser diferentes para outras fases do ciclo, atribuindo-se, assim, diferentes curvas de resposta à temperatura. Na Figura 1c são apresentados os valores de temperatura

<sup>1</sup> Processamento de Dados, MS, Bolsista do Consórcio Brasileiro de P&D Café-IAPAR, Área de Engenharia Agrícola, Instituto Agrônomo do Paraná, Cx Postal 481, 86001-970, Londrina, PR  
<sup>2</sup> Cientista da Computação, BS., Consultor do Projeto GeoSafras/IAPAR, Londrina, PR  
<sup>3</sup> Pesquisador da Área de Engenharia Agrícola do IAPAR, Londrina, PR

e o valor acumulado para término da fase 3, correspondente a emergência ao florescimento. O formulário indica ainda que o progresso dessa fase pode atrasar até 20% devido à deficiência hídrica.

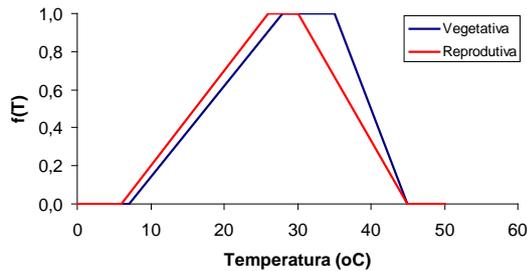


Figura 2. Efeito relativo da temperatura no desenvolvimento do feijoeiro, durante os períodos vegetativo e reprodutivo.

A função fotoperíodo também tem resposta linear e é definida por um fator de sensibilidade ao fotoperíodo da fase (FPSEN), que é calculado pela relação  $1/(X2-X1)$ , sendo X1 o valor de duração do dia em que o desenvolvimento é mínimo e X2 o valor de duração do dia em que o desenvolvimento passa a ser insensível à duração do dia. Esses valores são também definidos como características genéticas da cultivar.

O fator hídrico é dado por um índice de estresse hídrico, definido pelo déficit de transpiração relativa,  $1-T/T_{max}$ , sendo T e  $T_{max}$  a transpiração real e transpiração máxima do cultivo, respectivamente, obtidas por cálculo de balanço hídrico do perfil do solo vegetado. O desenvolvimento pode ser inibido se a disponibilidade hídrica estiver abaixo de um valor estabelecido como crítico, como nas fases de semeadura ao início de germinação e a floração, ou pode atrasar ou adiantar a taxa de progresso fenológico, de acordo com o grau de deficiência hídrica, como nos períodos pré e pós-antese. Assim, para simular um atraso de até 20% em condições de estresse severo a função  $z(H)$  assume o valor igual 1,2; para adiantar 20%  $z(H)$  é igual a 0,8.

A função  $w(G)$  pode representar quaisquer variáveis físicas, fisiológicas ou morfológicas, como, por exemplo, para iniciar a germinação. Nesse caso o valor crítico para término da fase (DC3) é igual a 1 e a função  $w(G)$  assume o valor igual a zero, quando a retenção de umidade do solo for inferior a uma dada fração crítica na camada de semeadura, e igual a 1, quando atinge esse valor. Essa condição é ilustrada na Figura 1b, na qual a fase 1 (semeadura a início da emergência) termina quando a umidade do solo é maior ou igual a 30% da água disponível na camada de semeadura. A função  $w(G)$  pode também variar gradualmente de zero a 1 para outros fatores, tal como ocorre para os fatores térmico, hídrico e de fotoperíodo, acumulando-se as taxas de progresso até se atingir o valor crítico para o término da fase.

As variáveis meteorológicas necessárias para implementação do modelo computacional foram obtidas da estação climatológica do IAPAR. Os dados de solo foram obtidos de análises de Latossolo Roxo do local. Os dados observados de fenologia utilizados no teste do módulo computacional foram obtidos em experimentos de campo com a cultura do feijoeiro conduzidos durante dois anos em Londrina-PR. Nestes experimentos, a cultivar IAPAR 14 foi submetida a diferentes condições térmicas, proporcionadas pela

semeadura em diferentes épocas de semeadura no outono (Épocas I e II) e primavera (Época III), e regimes hídricos, obtidos pela aplicação de irrigação a diferentes níveis de tensão de água no solo (I0= sem irrigação; I1= aplicação de água a -25 kPa; I2= aplicação de água a -70 kPa) ou pela supressão hídrica ao longo do ciclo fenológico (I = 0-20 dias; II = 21-40 dias; III = 41-60 dias; IV = 61 dias a maturação fisiológica; V = irrigação plena).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa foi codificado em linguagem Delphi 5,0<sup>TM</sup>, no ambiente Windows<sup>TM</sup> e base de dados em Microsoft Access 97®, seguindo uma estrutura modular para acomodar os diferentes componentes do sistema. Além dos módulos que simulam a dinâmica solo-planta-atmosfera, o sistema inclui também uma interface para facilitar a entrada de dados das simulações, um banco de dados e um módulo de saída com o ambiente gráfico para visualização e manipulação de informações e resultados. Em breve, pretende-se disponibilizar o módulo fenologia ao usuário, desenvolvendo-se uma nova interface e acoplamento com outros módulos para permitir seu uso independentemente do modelo de crescimento do cultivo.

Para cada simulação há necessidade de se especificar a época de semeadura o tipo de solo, clima, cultura e cultivar, que são acessadas do banco de dados contendo informações previamente cadastradas. Na Figura 1 apresentou-se o formulário de cadastro das fases fenológicas de uma cultivar de feijoeiro, bem como exemplos dos critérios para progressão durante a fase fenológica.

O teste do programa computacional é apresentado na Figura 3. O modelo simulou o desenvolvimento adequadamente a duração dos períodos emergência-florescimento e emergência-maturação fisiológica.

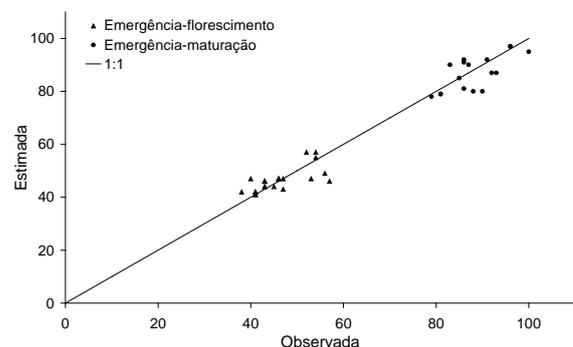


Figura 3. Durações dos períodos emergência-florescimento e emergência-maturação fisiológica observadas e estimadas

## REFERÊNCIAS

- Fehr, W. R., Caviness, C. E. Stage of soybeans development. Ames : Iowa State University, 1977. 12p. (Special Report, 80.)  
 Tsuji, G.Y.; Uehara, G.; Balas, S. (Ed.) DSSAT v3. Honolulu: University of Hawaii, 1994a. 3v.