

# SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO DO CAFEIEIRO

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

<sup>1</sup>IAPAR, Londrina, <sup>2</sup>Projeto GeoSafras-IAPAR, Londrina-PR, <sup>3</sup>Consórcio Brasileiro de P&D Café-IAPAR, Londrina-PR,

## Resumo:

A predição do desenvolvimento fenológico das culturas é importante para simular o seu crescimento e também para programar com antecedência as operações agrícolas. Neste trabalho apresenta-se um programa computacional para a predição da época de ocorrência dos principais estádios fenológicos do cafeeiro. Esse programa constitui um módulo, juntamente com outros módulos que simulam o balanço de carbono e balanço hídrico, de um modelo de crescimento da cultura. O progresso de desenvolvimento é função de requerimentos térmicos, hídricos, de fotoperíodo, e características de crescimento da planta, definidos como em características genéticas da cultivar a ser simulada. O teste do programa revelou que a representação temporal das fases foi compatível com o desenvolvimento do cafeeiro e as datas de ocorrência dos estádios foram próximas com o que ocorreu no campo durante o período analisado.

Palavras-chave: modelagem, desenvolvimento vegetativo, fenologia.

## A COMPUTATIONAL PROGRAM FOR SIMULATION OF COFFEE PHENOLOGICAL DEVELOPMENT

### 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 coffee plant. It is a module, to be run together with other modules that simulate carbon and water balance, as part of a crop growth model. The developmental progress is a functions 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.

Key words: modeling, crop development, phenology

## Introdução

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. A previsão do desenvolvimento vegetativo é também de grande valia para se programar com antecedência as operações agrícolas, tais como controle de doenças e pragas, arruação e colheita.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar um programa computacional para a predição da época de ocorrência dos principais estádios fenológicos do cafeeiro. Esse programa constitui um módulo, juntamente com outros módulos que simulam o balanço de carbono e balanço hídrico, de um modelo de crescimento da cultura que se encontra em desenvolvimento (Projeto 19.2002.014.02 do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café).

## Material e Métodos

Escalas fenológicas propostas para o cafeeiro (Arcila-Pulgarín, sd, Camargo e Camargo, 2001, Pezzopane et al., 2003) foram adaptadas de modo a descrever o ciclo da cultura por nove fases, cujas características são as seguintes: **Fase 1** – semeadura ao início da emergência, inclui os processos de embebição da semente até o início da germinação, sendo iniciada quando a umidade do solo na profundidade da semeadura encontra-se acima de um valor crítico; **Fase 2** - início de germinação à emergência, é completada com a emergência do epicótilo através do pergaminho, sendo afetada pela temperatura do solo na profundidade da semeadura e atrasada pela baixa umidade do solo; **Fase 3** – emergência à ramificação, segue com a formação de nós no ramo ortotrópico até atingir o 10<sup>o</sup> nó, quando começa a formação de ramos plagiotrópicos, ou ramificação; sua progressão depende da temperatura e disponibilidade hídrica; **Fase 4** – ramificação à indução floral, a planta prossegue com o crescimento vegetativo do caule e ramos e termina com o início da indução floral, quando o comprimento do dia atinge a duração crítica; **Fase 5** – indução floral à gema floral madura, inclui a formação, desenvolvimento e maturação de gemas florais no ramo, que são condicionados pela temperatura; **Fase 6** - gema floral madura ao florescimento, inicia-se com as gemas florais quiescentes até que ocorre chuva ou irrigação acima de um valor

crítico, iniciando-se o intumescimento dos botões florais até culminar na antese; **Fase 7** – floração ao início da frutificação, inicia-se com a antese até o início da formação dos grãos (chumbinho), sendo afetada pela temperatura; **Fase 8** – início da frutificação à maturação fisiológica, compreende o período de pegamento dos chumbinhos e desenvolvimento das sementes e frutos, terminando na maturação fisiológica, quando os frutos apresentam 90% de seu tamanho final, com cor verde oliva, sendo afetada pela temperatura, **Fase 9** - maturação fisiológica do fruto e semente à senescência da planta, sendo condicionada pela temperatura e disponibilidade hídrica.

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 (Tsuji et al., 1993). 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 máximo (MD) 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:

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

Na Equação 1 o passo de cálculo (dt) corresponde a um dia e MD 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 1), 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 cessa 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.

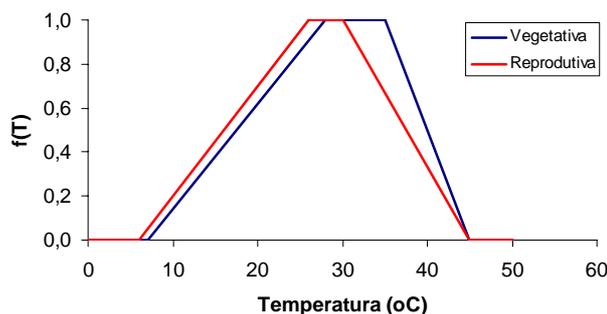


Figura 1. Efeito relativo da temperatura no desenvolvimento do cafeeiro, durante os períodos vegetativo e reprodutivo

A função fotoperíodo também tem resposta linear (Figura 2) 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.

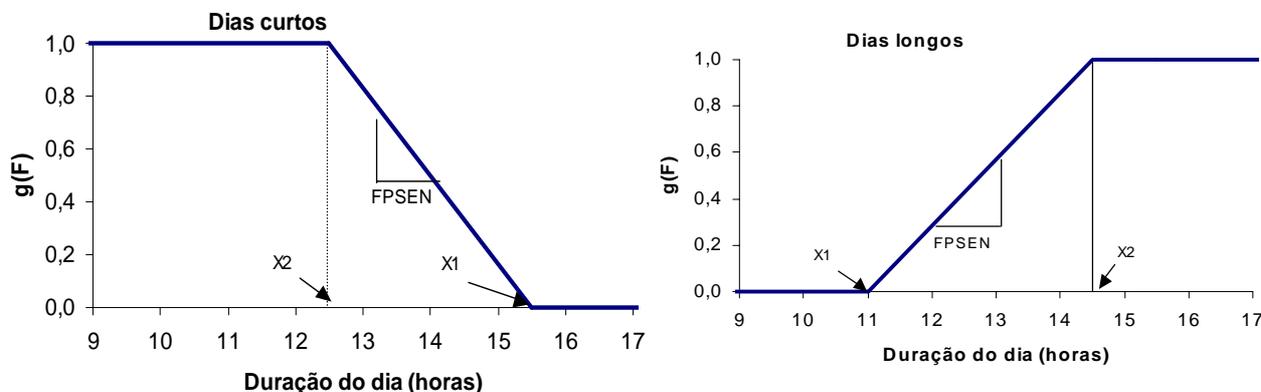


Figura 2. Efeito relativo fotoperíodo no desenvolvimento fenológico, considerando a ação em dias curtos e longos. X1 e X2 são duração do dia em que o desenvolvimento é mínimo e máximo, respectivamente, e FPSEN é a taxa de sensibilidade da fase ao fotoperíodo

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, o número de nós no caule no término da Fase 3. 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 o número de nós for inferior a 10, e igual a 1, quando atinge esse valor. O mesmo ocorre para as Fases 1, 4 e 6, em que os fatores críticos são a umidade do solo, duração do dia e chuva. 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.

## 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<sup>®</sup>, seguindo uma estrutura modular para acomodar os diferentes componentes do sistema, de acordo com o método definido por Porter et al. (2003). Além dos módulos que simulam a dinâmica planta-solo-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.

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 3 apresenta-se o formulário de cadastro das fases fenológicas de uma cultivar de cafeeiro, bem como exemplos dos critérios para progressão durante a fase fenológica.

**Cadastro**

Cultivar: JAPAR 59 | Cultura: CAFE | Tipo: PERENE | Fase de emergência: 3

Curva de absorção de água: b1=1, b2=2.5, b3=50, b4=100, b5=1500

Total de fases cadastradas: 9

No Fase	Ref Fase	Descrição	Parâmetro	Requerimento	Modificador Term/Foto/Híd
1	1	SEMEADURA A INÍCIO DE GERMINAÇÃO	UMIDADE	VALOR DIÁRIO MAIOR QUE 30	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1	INÍCIO DA GERMINAÇÃO A EMERGÊNCIA	DIAS FOTOTÉRMICOS	VALOR ACUMULADO MAIOR QUE 90,0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2	EMERGÊNCIA A RAMIFICAÇÃO	Nº DE NÓS	VALOR DIÁRIO MAIOR QUE 10	<input type="checkbox"/>
4	2	RAMIFICAÇÃO A INDUÇÃO FLORAL	COMPIMENTO DO DIA	VALOR DIÁRIO MENOR QUE 12,5	<input type="checkbox"/>
5	4	INDUÇÃO FLORAL A GEMA FLORAL MADURA	DIAS FOTOTÉRMICOS	VALOR ACUMULADO MAIOR QUE 60,0	<input checked="" type="checkbox"/>
6	5	GEMA FLORAL MADURA A 1 FLOR	CHUVA	SOMA(DIAS) MAIOR QUE 30	<input type="checkbox"/>
7	1	FLOR A 1 FRUTIFICAÇÃO	DIAS FOTOTÉRMICOS	VALOR ACUMULADO MAIOR QUE 15,0	<input checked="" type="checkbox"/>
8	8	FRUTIFICAÇÃO A MATURAÇÃO FISIOLÓGICA	DIAS FOTOTÉRMICOS	VALOR ACUMULADO MAIOR QUE 180,0	<input checked="" type="checkbox"/>
9	5	MATURAÇÃO FISIOLÓGICA A COLHEITA	DIAS FOTOTÉRMICOS	VALOR ACUMULADO MAIOR QUE 20,0	<input checked="" type="checkbox"/>

**Manutenção | Fases Fenológicas** (Fase 3)

Fase: 3 | Descrição: EMERGÊNCIA A RAMIFICAÇÃO | Referência: 2

Variável crítica: Nº DE NÓS

Período: SOMA | Dias: 1 | Condição: MAIOR QUE | Valor crítico: 10

Sensibilidade: Fotoperíodo (X1, X2) | Hídrico (Influência no desenvolvimento, Tipo, Taxa (%))

**Manutenção | Fases Fenológicas** (Fase 5)

Fase: 5 | Descrição: INDUÇÃO FLORAL A GEMA FLORAL MADURA | Referência: 4

Variável crítica: DIAS FOTOTÉRMICOS | TBase: 10 | T01: 18 | T02: 30 | TMax: 40

Valor crítico: 60

Sensibilidade: Fotoperíodo (X1, X2) | Hídrico (Influência no desenvolvimento, Tipo: ACELERA, Taxa (%))

**Manutenção | Fases Fenológicas** (Fase 6)

Fase: 6 | Descrição: GEMA FLORAL MADURA A 1 FLOR | Referência: 5

Variável crítica: CHUVA

Período: SOMA | Dias: 3 | Condição: MAIOR QUE | Valor crítico: 30

Sensibilidade: Fotoperíodo (X1, X2) | Hídrico (Influência no desenvolvimento, Tipo, Taxa (%))

Figura 3. Formulário de fases fenológicas e critérios para progressão de fase fenológica

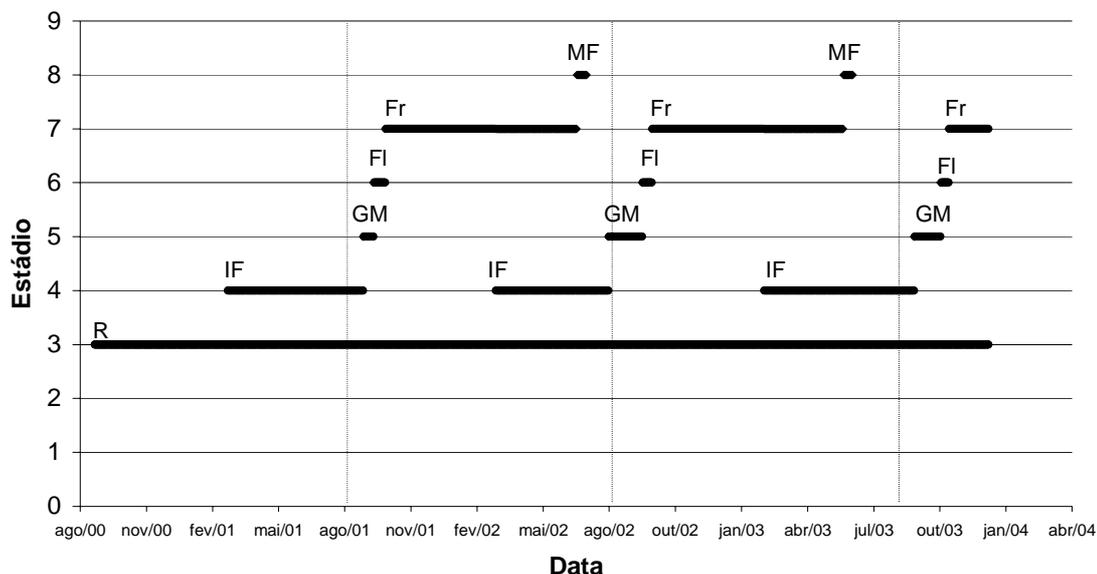


Figura 4. Simulação do desenvolvimento do cafeeiro para a região de Londrina, durante o período de setembro de 2000 a dezembro de 2003, segundo as fases da Tabela 1

O teste do programa computacional é apresentado na Figura 4. Simulou-se o desenvolvimento do cafeeiro na região de Londrina durante três anos, a partir de setembro de 2000. A representação temporal das fases foi compatível com o desenvolvimento do cafeeiro e as datas de ocorrência dos estádios foram próximas com o que ocorreu no campo durante o período do teste. O modelo simulou o desenvolvimento vegetativo (ramificação) concomitantemente com o reprodutivo e houve coincidência da fase 5 (Indução floral-gema floral madura), durante o outono-inverno, com as fases 8 (1ª semente - maturação fisiológica) e 9 (maturação fisiológica - senescência).

O teste deste módulo deve prosseguir com a parametrização dos coeficientes que definem os requerimentos fototérmicos para mudança de estádios. Além disso, devem ser definidos os estádios que são sensíveis ao fotoperíodo, critérios para florescimento e número de floradas.

#### Referências Bibliográficas

- Arcila-Pulgarín J.; Buhr L.; Bleiholder H.; Hack H.; Meier U.; Wicke H., sd, Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.)
- Camargo, A.P. de, camargo, M.B.P. de Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, Campinas, 60(1): 65-68. 2001
- Pezzopane, J. R.M.; Pedro Junior, M. J.; Thomaziello, R. A. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003
- Porter, et al. (2003, <http://www.icasa.net/modular/index.html>)
- Tsuji, G.Y., Uehara, G. & Balas, S. (eds.). DSSAT, v3, vol. 1, 2 and 3: University of Hawaii, Honolulu., 1994.