

MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE ESTIMATIVA DA DURAÇÃO DO ESTÁDIO FLORAÇÃO-MATURAÇÃO PARA TRÊS CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

Fabiana Lataro Nunes²; Marcelo Bento Paes de Camargo^{3,5}; Luiz Carlos Fazuoli^{3,5};
 Glauco de Souza Rolim³; José Ricardo Macedo Pezzopane⁴

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D/Café

²Eng^a Agr^a, M.Sc. PG/IAC/APTA, Campinas-SP. Bolsista/BNP&D/Café, fabilataro@hotmail.com

³Pesquisador, D.Sc., IAC/APTA, Campinas-SP. mcamargo@iac.sp.gov.br; fazuoli@iac.sp.gov.br; rolim@iac.sp.gov.br

⁴Professor, D.Sc., CEUNES/UFES, São Mateus-ES. josepezzopane@ceunes.ufes.br.

⁵Bolsista de produtividade científica CNPq.

RESUMO: O objetivo do trabalho foi desenvolver, calibrar e testar modelos agrometeorológicos de diferentes somas térmicas que quantificam a duração do estágio floração-maturação dos frutos para três diferentes cultivares de café. Dados fenológicos das cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20 foram obtidos de experimentos conduzidos pelo IAC/APTA nas regiões paulistas de Campinas e Mococa. Foram utilizadas informações fenológicas, como datas do início da floração plena e da maturação obtidos durante os anos agrícolas de 2001/02 a 2007/08. Os anos agrícolas de 2001/02 a 2004/05 foram selecionados para a parametrização dos modelos, enquanto os de 2005/06 a 2007/08 foram reservados para os testes como dados independentes. Para estimar a duração do estágio da floração-maturação foram utilizados diferentes modelos de acumulação de evapotranspiração: potencial (ETp), real (ETr) e combinação entre ETr e ETp (ETr-ETp) e baseados em graus-dia: clássico (GD) e corrigido pelo fator hídrico (GDcorr). Este procedimento foi adotado, para considerar a influência de períodos com deficiência hídrica no desenvolvimento dos frutos do cafeeiro. Os resultados indicaram que os modelos que consideram correção pelo fator hídrico (ETr, ETr-ETp e GDcorr) apresentaram estimativas da duração do estágio floração-maturação do café com maior consistência do que os demais modelos (ETp e GD clássico). As acumulações considerando valores médios de ETr iguais a 746, 762, e 799 mm para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20 respectivamente, podem ser considerados melhores indicativos para a estimativa do que considerando apenas ETp. As somas térmicas considerando valores médios de GDcorr de 2733, 2816 e 3008 para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã 1669-20 podem ser considerados melhores indicativos para a estimativa do que a soma térmica pelo método clássico de GD. O modelo que considera ETr durante todo o ciclo da floração-maturação apresentou melhor desempenho comparado aos demais, especialmente para as cultivares Mundo Novo e Catuaí. Os modelos calibrados foram testados em anos independentes e apresentaram estimativas consistentes da duração do estágio floração-maturação. Os resultados confirmam a necessidade de se considerar o fator hídrico para a quantificação das somas térmicas, seja considerando ET ou GD.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, fenologia, soma térmica, evapotranspiração, graus-dia.

AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR ESTIMATION OF THE DURATION OF THE FLOWERING-MATURATION STAGE FOR THREE ARABIC COFFEE CULTIVARS

ABSTRACT: The objective was to identify, calibrate, and test different thermal sum models that quantify the duration of the flowering-maturation growth stage of the coffee cherry fruits for three different cultivars. Phenological data were collected concerning Mundo Novo, Catuaí, and Obatã IAC 1669-20 coffee cultivars from the experimental studies at Agronomic Institute (IAC), located at Campinas and Mococa, São Paulo State, Brazil. Phenological information of seven growing seasons were used as date of the beginning of the full flowering and maturation obtained considering the cycles from 2001/02 to 2007/08. The growing seasons were divided in two parts: years from 2001/02 to 2004/05 were used for the calibration of the models and from 2005/06 to 2007/08 were reserved for the tests as independent data. Five different thermal sums were used to estimate the duration of the flowering-maturation growth stage: three based on evapotranspiration such as potential (ETp), actual (ETr) and a combination between ETr and ETp (ETr-ETp); and two based on growing degree-days such as a classical (GD) and a corrected by the water availability factor (GDcorr) during the first eight ten-day after the flowering. This procedure was adopted, to consider the influence of periods with water deficit on the development of the coffee fruits. The results indicated that models considering correction for water availability (ETr, ETr-ETp, and GDcorr) presented better results with estimative of the duration of the flowering-maturation growth stage with larger consistence than the other sums (ETp and classic GD. The accumulation models considering ETr medium values of 746, 762, and 799 mm respectively for Mundo Novo, Catuaí, and Obatã IAC 1669-20 cultivars can be considered more consistent than the models base on only in ETp values. The thermal sums models considering medium values of GDcorr such as 2733, 2816, and 3008, respectively, can be considered better indicative for the estimate than the thermal sum model

base on classic method of GD. The calibrated models were tested with independent years, and presented good estimates of the duration of the flowering-maturation growth stage. The results confirm the need of the water availability factor to be considered for the quantification of the required thermal sums.

Key words: *Coffea arabica*, phenology, thermal sum, evapotranspiration, degree-day.

INTRODUÇÃO

Modelos agrometeorológicos que relacionam condições ambientes, como temperatura e disponibilidade hídrica no solo, como fenologia e produtividade do cafeeiro são importantes para subsidiar os trabalhos de previsão de safras do Brasil. Esses modelos consideram que cada variável meteorológica exerce controle na produtividade da cultura por influenciar em determinados períodos fenológicos críticos, como na floração, na formação e na maturação dos frutos dos cafeeiros.

Segundo Camargo & Camargo (2001) o subperíodo “floração-maturação” é completado quando a soma de evapotranspiração potencial (ETp) atinge cerca de 700 mm. Pezzopane et al. (2008) desenvolveram diferentes modelos de somas térmicas para a cultivar Mundo Novo e concluíram ser necessário considerar correção pelo fator deficiência hídrica. Porém, para ser incorporado em modelos de estimativa de produtividade são necessários mais informações para determinar com maior precisão os limites térmicos e hídricos para a maturação dos frutos de diferentes cultivares.

O objetivo do trabalho foi identificar os melhores modelos agrometeorológicos de quantificação de soma térmica na estimativa da duração do subperíodo floração-maturação dos frutos para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados fenológicos das cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20 foram obtidos de experimentos conduzidos pelo IAC/APTA nas regiões paulistas de Campinas (Lat.: 22° 54' S; Long.: 47° 05' W e Alt.: 674m) e Mococa (Lat.: 21° 28' S; Long.: 47° 01' W e Alt.: 665m). Foram utilizadas informações fenológicas, como datas do início da floração e da maturação para os anos agrícolas de 2001/02 a 2007/08. A floração plena representava a mais importante floração de cada ano e a maturação quando pelo menos 50% dos grãos atingiam a fase de cereja, estando assim em condições de colheita. Os anos de 2001/02 a 2004/05 foram selecionados para a parametrização dos modelos, enquanto os anos de 2005/06 a 2007/08 foram reservados para os testes como dados independentes.

Foram utilizados diferentes valores de acumulações baseadas em evapotranspirações: potencial (ETp), real (ETr) e combinação entre ETr e ETp, e baseadas em somas térmicas em graus-dia: clássico (GD) e corrigido pelo fator hídrico (GDcorr). A acumulação baseada na combinação entre ETp e ETr foi estimada de acordo com Pezzopane et al. (2008) considerando ETr nos oito primeiros decêndios após a floração e acúmulo da ETp do nono decêndio até a maturação. Este procedimento foi adotado, para considerar a influência de períodos com deficiência hídrica no desenvolvimento inicial dos frutos do cafeeiro. O cálculo dos balanços hídricos foi realizado baseado no método de Thornthwaite & Mather (1955), em escala decencial considerando capacidade máxima de água disponível de 100 mm, que atende a grande maioria dos solos das áreas cafeeiras do Estado de São Paulo (Camargo & Pereira, 1994).

O método clássico de graus-dia (GD) considerou temperatura base de 10,2°C conforme determinada por Pezzopane et al. (2005) para o sub-período floração-maturação. Este conceito de GD assume a existência de relação entre desenvolvimento da cultura e temperatura, não considerando o efeito do déficit hídrico sobre o desenvolvimento vegetal. Segundo Camargo (1985) e Rena & Maestri (1985) o desenvolvimento inicial da frutificação pode ser retardado em função de ocorrência de deficiência hídrica. Assim foi utilizado também o “GDcorr” com temperatura base de 10,5°C, corrigido pelo fator hídrico em função da disponibilidade de água no solo no início do desenvolvimento dos chumbinhos e expansão dos frutos, até o oitavo decêndio após a floração de acordo com Pezzopane et al. (2008).

O desempenho dos modelos na calibração e no teste foi avaliado por meio de análises estatísticas específicas. Para avaliar as interações entre as variáveis dependentes (duração dos ciclos) com as variáveis independentes (somas térmicas e componentes dos balanços hídricos) utilizaram-se gráficos de superfície de resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As acumulações de ET e somas térmicas de GD estimadas na calibração dos modelos para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã no período da floração-maturação estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3. Observa-se que as acumulações de ETp apresentaram valores de desvio padrão (DP) e de coeficiente de variação (CV) muito superiores comparados com as acumulações utilizando ETr ou ETr-ETp para as três cultivares consideradas indicando assim um desempenho inferior da soma térmica ETp. Assim, as acumulações considerando valores médios de ETr 746 mm para a

cultivar Mundo Novo, 762 mm para a cultivar Catuaí e 799 mm para cultivar Obatã IAC 1669-20 podem ser considerados melhores indicativos para a estimativa do período floração-maturação do que a soma térmica considerando apenas ETp.

Tabela 1 – Valores de somas térmicas, em graus-dia (GD) e acumulações de evapotranspirações (ET) e análises estatísticas no período floração-maturação para a cv. Mundo Novo em Campinas e Mococa, SP utilizados para a parametrização para os anos agrícolas 2001/02 a 2004/05.

Ano Agrícola	n° dias	Acumulações (mm)			Somadas Térmicas	
		ETp	ETr	ETr-ETp	GD	GDcorr
Campinas						
2001/02	206	775,3	743,6	755,8	2661,0	2561,3
2002/03	196	817,5	710,5	730,1	2784,0	2606,7
2003/04	207	770,9	718,4	739,2	2678,0	2546,3
2004/05	211	812,8	764,2	796,2	2818,0	2687,3
Mococa						
2003/04	242	922,2	765,9	801,5	3306,0	3045,7
2004/05	219	877,7	775,1	808,2	3152,0	2953,0
Média	213,5	829,4	746,3	771,8	2899,8	2733,4
DP	15,8	59,5	26,8	34,2	266,4	213,8
CV (%)	7,4	7,2	3,6	4,4	9,2	7,8

Tabela 2- Valores de somas térmicas, em graus-dia (GD) e acumulações de evapotranspirações (ET) e análises estatísticas no período floração-maturação para a cv. Catuaí em Campinas e Mococa, SP utilizados para a parametrização para os anos agrícolas 2001/02 a 2004/05.

Ano Agrícola	n° dias	Acumulações (mm)			Somadas Térmicas	
		ETp	ETr	ETr-ETp	GD	GDcorr
Campinas						
2001/02	213	805,4	773,4	785,9	2802,0	2699,3
2002/03	203	848,0	724,4	745,4	2914,0	2712,0
2003/04	206	850,1	757,6	790,1	3038,0	2840,3
2004/05	204	788,1	746,5	771,5	2709,0	2592,3
2001/02	220	837,8	766,1	832,6	2971,0	2810,8
Mococa						
2003/04	248	941,6	785,3	820,9	3390,0	3126,7
2004/05	226	863,2	778,6	829,1	3109,0	2927,0
Média	217,1	847,7	761,7	796,5	2990,4	2815,5
DP	16,1	49,2	21,0	32,5	222,4	175,1
CV (%)	7,4	5,8	2,7	4,1	7,4	6,2

Tabela 3 - Valores de somas térmicas, em graus-dia (GD) e acumulações de evapotranspirações (ET) e análises estatísticas no período floração-maturação para a cv.Obatã IAC 1669-20 em Campinas e Mococa, SP utilizados para a parametrização para os anos agrícolas 2001/02 a 2004/05.

Ano	n° dias	Acumulações (mm)			Somadas Térmicas	
		ETp	ETr	ETr-ETp	GD	GDcorr
Agrícola						
Campinas						
2001/02	242	891,6	839,5	872,1	3224,0	3081,0
2002/03	231	930,4	797,2	827,8	3294,0	3068,4
2003/04	217	887,7	793,8	827,7	3192,0	2985,3
2004/05	225	835,6	775,5	819,0	2922,0	2771,0
Mococa						
2001/02	227	861,6	777,6	856,4	3098,0	2913,7
2003/04	261	963,7	807,4	843,0	3481,0	3214,7
2004/05	238	885,0	800,4	850,9	3207,0	3022,0
Média	234,4	893,7	798,8	842,4	3202,6	3008,0
DP	14,4	42,4	21,4	18,8	171,3	139,9
CV (%)	6,1	4,7	2,7	2,2	5,4	4,6

O modelo de soma térmica clássica de GD indicou valores médios de 2.900, 2.990 e 3.203GD para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20, respectivamente. A parametrização utilizando somas térmicas com procedimento de correção para o fator hídrico (GDcorr) apresentaram melhor desempenho, com valores inferiores de DP e CV para as três cultivares. O modelo GDcorr indicou valores médios necessários de 2733, 2816 e 3008 GDcorr para as cultivares Mundo Novo, Catuaí e Obatã IAC 1669-20, respectivamente.

As somas térmicas baseadas em GDcorr podem ser consideradas mais indicadas para a estimativa do período floração-maturação do que a soma térmica baseada no método clássico de GD. Resultados semelhantes foram obtidos por Pezzopane et al. (2008) que indicaram os valores médios de 2887 GD e 2761 GDcorr para a cv. Mundo Novo na região de Campinas, SP.

Em função dos resultados indicarem a necessidade de se considerar o fator hídrico representado pela deficiência hídrica, gráficos de superfície de resposta foram elaborados, analisando a duração dos ciclos em dias do período floração-maturação das cultivares em função das combinações de diferentes valores da acumulação de ETr e GDcorr com deficiência hídrica (DEF). Como exemplo alguns destes gráficos estão apresentados nas Figuras 1 e 2. Desta forma é possível avaliar as interações entre as variáveis dependentes (duração dos ciclos em dias) com as variáveis independentes, as somas térmicas consideradas (ETr e GDcorr) e a variável deficiência hídrica. Observa-se que quanto maior o valor da deficiência hídrica menor é a duração dos ciclos, interferindo nas acumulações térmicas estimadas pelos modelos. Estes gráficos demonstram a importância da variável deficiência hídrica sobre a duração do ciclo do período floração-maturação para todas as somas térmicas e para as três cultivares consideradas.

Os modelos calibrados foram testados considerando os anos independentes de 2005/06 a 2007/08. As análises estatísticas dos testes indicaram que as acumulações de ETp apresentaram também valores de DP e CV muito superiores comparados com as somas considerando ETr ou ETr-ETp. Da mesma forma, os testes considerando somas térmicas a partir de graus-dia indicaram melhor desempenho quando utilizado GDcorr, que apresentaram valores inferiores de DP e CV comparados ao GD clássico. Estes resultados confirmam a necessidade de se considerar o fator hídrico para a quantificação das acumulações térmicas, seja considerando ET ou GD, necessárias para estimação do período floração-maturação do café.

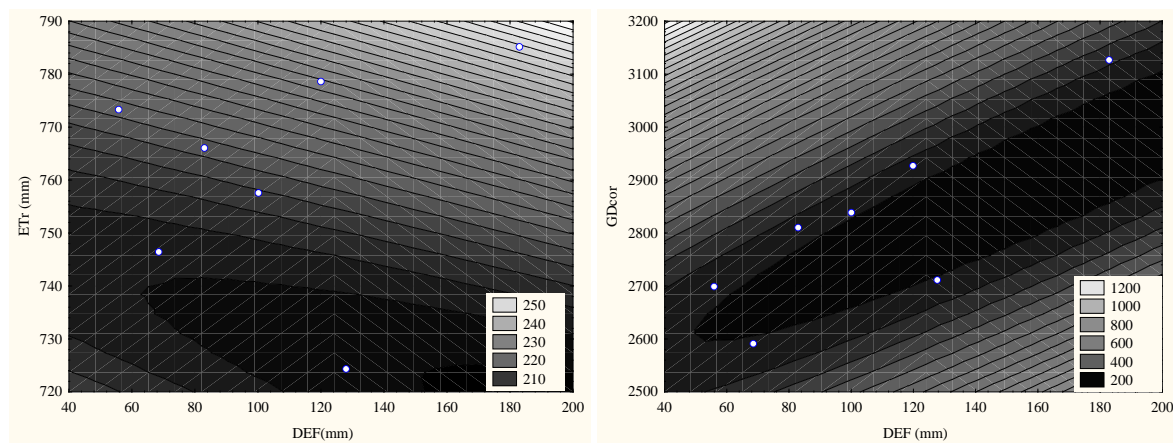


Figura 1 – Gráficos de superfície de resposta entre a duração dos ciclos em dias do subperíodo floração-maturação da cv. Mundo Novo em função das combinações de diferentes valores da acumulação de ETr e GDcorr e de deficiência hídrica (DEF) para Campinas e Mococa nos anos de 2001 a 2005. A legenda indica a classe do número de dias do período floração-maturação.

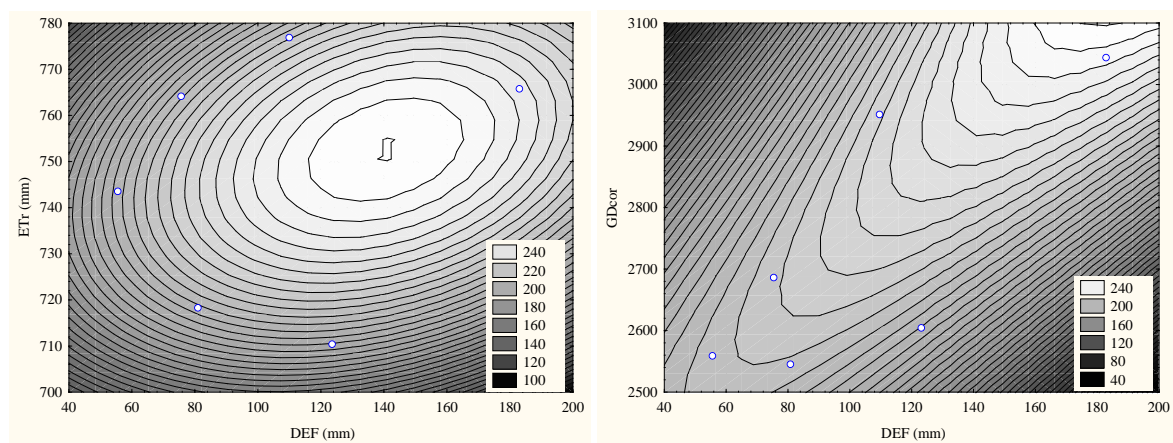


Figura 2 – Gráficos de superfície de resposta entre a duração dos ciclos em dias do subperíodo floração-maturação da cv. Catuaí em função das combinações de diferentes valores da acumulação de ETr e GDcorr e de deficiência hídrica (DEF) para Campinas e Mococa nos anos de 2001 a 2005. A legenda indica a classe do número de dias do período floração-maturação.

CONCLUSÕES

Os modelos de acumulação de ET (ETr e ETr-ETp) e soma térmica de GD (GDcorr) que consideram correções pelo fator hídrico estimam com mais consistência a duração do ciclo da floração-maturação do café do que os demais modelos ETp e GD clássico.

O modelo de acumulação de ET considerando ETr durante todo o ciclo da floração-maturação apresentou melhor desempenho comparado aos demais.

Quanto maior o valor da deficiência hídrica ocorrida nos ciclos, maior é a duração do subperíodo, interferindo nas acumulações de ET e somas térmicas GD estimadas pelos modelos para as três cultivares consideradas.

As acumulações térmicas necessárias para o complemento do estágio floração-maturação são 746mm (ETr) ou 2733 GD (GDcorr) para a cultivar Mundo Novo; 762mm (ETr) ou 2816 GD (GDcorr) para a cultivar Catuaí; e 799mm (ETr) ou 3008 GD (GDcorr) para a cultivar Obatã IAC 1669-20.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p.831-839, 1985.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Gebeve: World Meteorological Organization, 1994. 96p. (Agricultural Meteorology CaM report, 58).

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; FAZUOLI, L.C. Temperatura-Base e Graus-dia com correção pela disponibilidade Hídrica para o cafeeiro 'Mundo Novo' no período florescimento-colheita. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais...** Campinas, SP, 2005.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; FAZUOLI, L.C. Exigência Térmica do Café Arábica CV. Mundo Novo no Subperíodo florescimento-colheita. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32 n.6, p.1781-1786, Nov./Dez., 2008

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p. 26-40, 1985.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. 8, n.1).