

# PARAMETRIZAÇÃO DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE ESTIMATIVA DO INÍCIO DA FLORADA PLENA DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)<sup>1</sup>

Aline O. ZACHARIAS<sup>1</sup>; Marcelo B. P. de CAMARGO<sup>1,2</sup>, E-mail: mcamargo@iac.sp.gov.br; Luiz C. FAZUOLI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (EMBRAPA/PNP&D/CAFÉ); <sup>1</sup> Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, SP; <sup>2</sup>Bolsista Produtividade em Pesquisa - CNPq.

## Resumo:

As gemas florais completam a maturação e entram em dormência, ficando prontas para a antese, quando o somatório da evapotranspiração potencial (ETp), a partir de abril, atinge cerca de 350 mm. O objetivo deste trabalho foi parametrizar e validar um modelo agrometeorológico de estimativa do início da fase da floração plena do cafeeiro arábica para as condições do Estado de São Paulo. Anotações fenológicas do café arábica, variedades Mundo Novo e Catuaí, em fase adulta, foram obtidas de arquivos do Instituto Agrônomo (IAC) referentes a duas regiões do Estado, Campinas e Mococa, no período de 1993 a 2005. Como indicador do fator térmico, relacionado com a fenologia do cafeeiro, considerou-se inicialmente o valor sugerido de 350 mm relativo ao somatório decendial de ETp, a partir de abril, e a quantidade mínima de chuva de 10 mm no decêndio, necessária para que as gemas maduras sejam induzidas à antese conforme o modelo original. Consideraram-se, também, outros valores de ETp e também de chuva (1 a 10mm). O modelo agrometeorológico parametrizado, que considera os valores acumulados de ETp (335 mm) para as gemas florais atingirem a maturação e um mínimo de 7 mm de chuva para quebrar a dormência das gemas maduras, apresentou melhor capacidade de indicar a época da plena floração do cafeeiro arábica, com erros de estimativa inferiores ao do modelo original.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., clima, fenologia, maturação das gemas, florescimento.

## PARAMETRIZATION OF AN AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR ESTIMATING THE BEGINNING OF THE FLOWERING PERIOD FOR COFFEE CROP (*Coffea arabica* L.)

### Abstract:

Phenological observations made in adult coffee crops, under tropical conditions of Brazil, indicated that flowering buds complete the maturation and reach to the dormancy of the buds, being ready for the main flowering when the accumulated value of potential evapotranspiration (ETp), starting from April, reaches about 350 mm and a minimum amount of rainfall of 10 mm is necessary so that the mature buds are induced to anthesis, such as the original model. (Camargo and camargo, 2001). The objective was the parametrization and validation of the agrometeorological model for estimating the beginning of the full flowering period for arabic coffee for the conditions of the State of São Paulo. Phenological observations of adult coffee crops, variety Mundo Novo and Catuaí, were obtained from archives of the "Instituto Agronomico de Campinas" (IAC) for two tropical areas, Campinas and Mococa, during the years of 1993 to 2005. Different accumulated values of ETp and values of minimum rainfall (1 to 10 mm) also were considered. The parametrized agrometeorological model, that considers the accumulated values of ETp (335 mm), for the flower buds to reach the maturation, and a minimum value of 7 mm of rainfall presented better capacity to indicate the period of the full flowering for arabic coffee, with less errors of estimating comparing with the original model.

Key words: *Coffea arabica* L., climate, phenology, floral buds maturation, flowering.

## Introdução

Modelos mais consistentes são necessários para subsidiar os trabalhos de previsão antecipada da safra de café no Brasil, para permitir uma avaliação mais segura e precisa. Modelos matemáticos agrometeorológicos que relacionam condições ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica no solo, com fenologia, bienalidade e produtividade do cafeeiro estão sendo desenvolvidos para as regiões cafeeiras do Brasil. Esses modelos consideram que cada fator climático exerce certo controle na produtividade da cultura por influenciar em determinados períodos fenológicos críticos, como na indução floral, na floração, na formação e na maturação dos frutos dos cafeeiros (Camargo et al, 2003; Carvalho et al., 2003).

O modelo agrometeorológico proposto por Camargo e Camargo (2001), que considera o somatório da ETp a partir de abril de 350 mm para que as gemas florais completem a maturação e entrem em dormência, e a quantidade mínima de chuva de 10 mm no decêndio, necessária para induzir à antese, apresentou relativa capacidade de indicar o início do período da florada principal do café arábica, apresentando erros de estimativa superiores a dois decêndios. Entretanto, segundo Santos e Camargo (2006) para ser incorporado em modelos de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade, que necessitam desta importante informação fenológica, são necessários mais estudos para determinar com maior precisão os limites térmicos e hídricos para a maturação das gemas florais e a quebra da dormência para a antese.

Os objetivos deste estudo foram identificar os elementos e fatores climáticos que interferem no início da fase fenológica da floração; e desenvolver, parametrizar e validar modelo agrometeorológico de estimativa do início da fase da floração plena (principal) do cafeeiro arábica para as condições tropicais do Estado de São Paulo.

## Material e Métodos

Dados fenológicos e de produtividade do café *Coffea arabica* (L.) var. Mundo Novo e var. Catuaí, em fase adulta, foram obtidos e informatizados em nível de talhão, junto aos arquivos dos Centros de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Café “Alcides Carvalho” e de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica do IAC, de experimentos e observações realizados durante treze anos (1993 a 2005), em duas regiões agroecológicas do Estado de São Paulo, referentes aos municípios de Mococa e Campinas.

Da região de Mococa foram utilizados dados de duas áreas. Pólo Regional Nordeste Paulista da APTA (21° 28'S de latitude, 47° 01'W de longitude e 665 m de altitude); Fazenda Serra (21° 25'S, 46° 52'W e 827 m de altitude). Da região de Campinas foram utilizados dados de experimentos e observações desenvolvidos no Centro Experimental de Campinas do IAC (22°54'S de latitude, 47°05'W de longitude e 674 m de altitude); Fazenda Monte D'Este (22°50'S de latitude, 46°55'W de longitude e 650 m de altitude). Para ambas as regiões, consideraram-se datas do início da florada plena, ou seja, quando as gemas florais maduras transformaram-se em flores, referentes ao período de 1993 a 2005. As adubações, tratos culturais e tratamentos fitossanitários foram os usualmente recomendados para a cultura sem aplicação de irrigação.

Dados termopluiométricos diários foram obtidos junto aos arquivos do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC, oriundos dos postos meteorológicos das Estações Experimentais de Campinas e Mococa. Para o cálculo do balanço hídrico seqüencial decendial utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955), considerando a capacidade máxima de água disponível de 100 mm. Os balanços hídricos geraram valores decendiais da demanda atmosférica, representada pela evapotranspiração potencial (ETp), que foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). A ETp é um elemento climatológico fundamental para indicar a disponibilidade de energia solar na região, constitui assim, um índice de eficiência térmica semelhante aos graus-dia, porém sendo expressa em milímetros (mm) de evaporação equivalente (Camargo e Camargo, 2000). A ETp acumulada é muito utilizada na definição das disponibilidades térmicas, como nos trabalhos de zoneamento climático da aptidão agrícola e definição de fases fenológicas. Enquanto os valores da temperatura do ar e de graus-dia são expressos em graus, simples índices termométricos, a ETp é dada em milímetros de evaporação, equivalente a uma unidade física quantitativa.

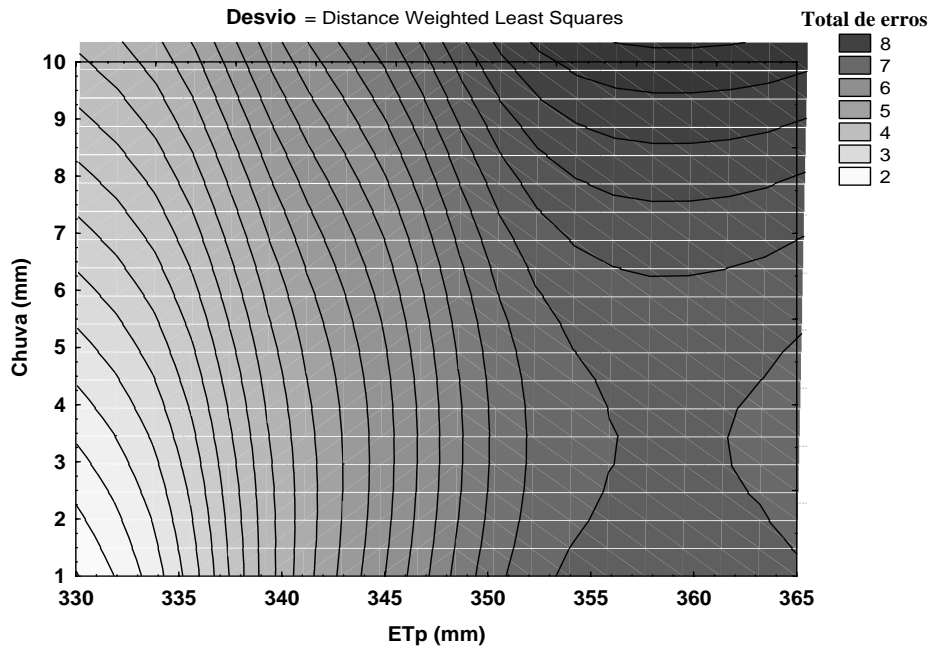
Neste estudo utilizou-se diferentes valores de somatórios acumulados de ETp, a partir de abril para fazer a previsão da época (decêndio) em que as gemas florais do cafeeiro atingiam a maturidade fisiológica. Para isso, consideraram-se valores de ETp acumulados de 330, 335, 340, 345, 350, 355, 360 e 365 mm. Após essas acumulações de ETp, consideraram-se diferentes quantidades mínimas de chuva necessárias para induzir a antese, de 1 a 10 mm.

Para a avaliação das estimativas das floradas plenas, foram utilizados indicadores estatísticos como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o índice de concordância “d” de Willmot et al. (1985) e o índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997). Para analisar as interações entre as variáveis dependentes (início do florescimento) e independentes (chuva e ETp) utilizou-se gráficos de superfície de resposta gerados por meio do programa STATISTICA 6.0.

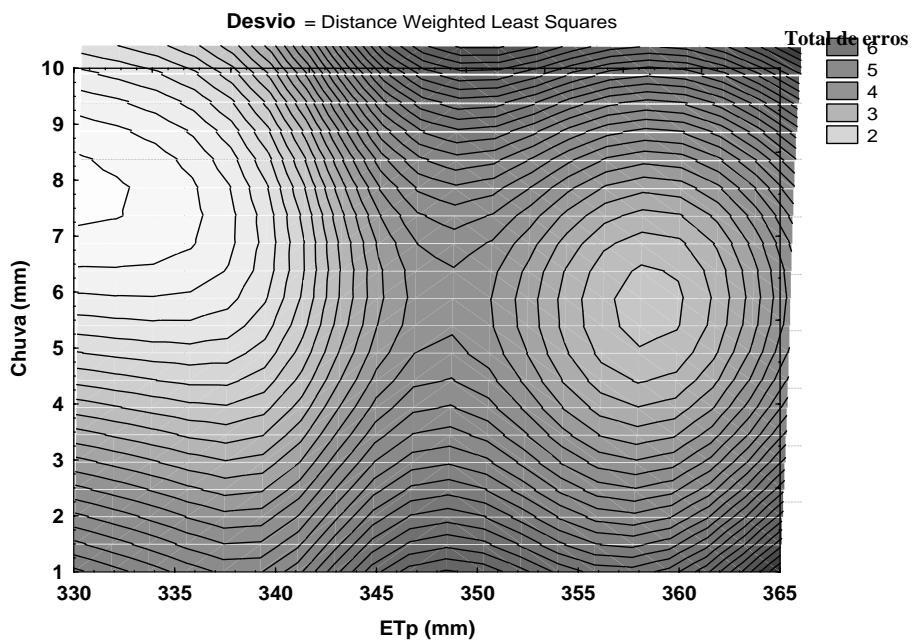
## Resultados e Discussão

Com o intuito de se estimar com maior consistência a época de ocorrência das floradas plenas do cafeeiro arábica para as regiões de Campinas e Mococa, utilizaram-se diferentes valores de ETp e de chuva. A figura 1 apresenta os erros de estimativa obtidos, em número de decêndios para a região de Campinas. Observa-se que quanto maior o valor de ETp (340 a 365 mm), maior é o total de erros (área escura), não variando muito em relação ao aumento da precipitação pluvial, apresentando totais de erros de até 8 decêndios. Já a área mais clara representa os melhores resultados, com os menores valores de total de erros entre 330 e 335 mm e quantidade mínima de chuva de 1 a 3 mm, apresentando erros de estimativa de até 2 decêndios em relação à florada real. O valor de 350 mm de ETp, sugerido por Camargo e Camargo (2001) como o necessário para que o botão floral atingisse a maturidade e um mínimo de 10 mm de chuva para induzir à antese, apresentou erros significativos, com um total de 8 estimativas incorretas (Figura 1).

Para a região de Mococa (Figura 2) os melhores resultados foram para as interações de menores valores de ETp (330 e 340 mm) e maiores quantidades de chuva mínima (6 a 8 mm), nos quais as floradas estimadas foram bem próximas das floradas reais, com totais de erros de 2 decêndios. Houve também, uma melhora da estimativa para a combinação de ETp em torno de 360 mm e precipitação entre 5 e 7 mm. Ao contrário de Campinas, que indica uma quantidade de chuva de 1 a 3 mm (Figura 1) para quebrar a dormência das gemas, a região de Mococa apresenta de uma quantidade maior. Ao analisar todas as combinações de valores de ETp acumulados e de precipitação pluvial, tanto para a região de Campinas como para Mococa, selecionaram-se aquelas que obtiveram os melhores índices estatísticos, e os resultados estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que, para Campinas, os maiores índices estatísticos consideraram valores acumulados de ETp entre 330 e 335 mm, e chuvas variando de 1 a 10 mm. Os valores do índice “d” foram elevados, entre 0,87 e 0,90, indicando uma boa exatidão do modelo em prever o início da florada plena do cafeeiro para esta região. Os valores de  $R^2$



**Figura 1.** Total de erros de estimativa (desvios) da florada plena do cafeeiro arábica, em função das combinações de diferentes valores de ETp acumulados (mm) e de precipitação pluvial (mm), para a região de Campinas, SP, nos anos de 1993 a 2005.



**Figura 2.** Total de erros de estimativa (desvios) da florada plena do cafeeiro arábica, em função das combinações de diferentes valores de ETp acumulados (mm) e de precipitação pluvial (mm), para a região de Mococa, SP, nos anos de 1993 a 2005.

variaram de 0,66 a 0,69, indicando uma pequena dispersão dos dados obtidos em relação à média. Levando-se em consideração apenas o índice “c”, observa-se que não ocorreu variação estatística entre essas combinações, sendo igual a 0,60, indicando um desempenho “mediano” do modelo. Para Mococa, observaram-se melhores resultados para os valores de ETp acumulados entre 330 a 340 mm, e chuvas de 6 a 10 mm. Os valores do índice “c” de confiança foram mais

elevados para esta região do que para Campinas, sendo igual a 0,70, indicando um bom desempenho do modelo. Os índices “d” e R<sup>2</sup> também foram mais elevados, 0,93 e 0,75 respectivamente, indicando boa precisão e exatidão do desempenho do modelo em estimar o início da florada plena.

Considerando-se a média dos resultados estatísticos de Campinas e Mococa, obtiveram-se os valores de 335 mm de ETp acumulado, a partir de abril, e chuva mínima de 7 mm como a melhor interação do modelo fenológico para se estimar a época de ocorrência da florada plena do cafeeiro, para as condições tropicais do Estado de São Paulo. Estes valores se diferem dos sugeridos por Camargo e Camargo (2001), que consideraram o valor de ETp em torno de 350 mm e chuva mínima de 10 mm, para a indução da antese. Contudo, estes resultados estão de acordo com Damatta e Rena (2002) que sugeriram que de 5 a 10 mm de chuva são suficientes para quebrar a dormência das gemas florais, semelhante ao valor de 7 mm aqui observado.

**Tabela 1.** Resultados estatísticos da análise da estimativa da florada plena para Campinas e Mococa, SP, em função das combinações de valores de ETp acumulados (mm), a partir de abril, e de precipitação pluvial (mm).

Região	ETp	Precipitação	d	R <sup>2</sup>	c	
	(mm)	(mm)				
Campinas	330	3	0,90	0,66	0,60	
	335	1	0,90	0,66	0,60	
	335	2	0,90	0,66	0,60	
	335	3	0,90	0,66	0,60	
	330	8	0,87	0,69	0,60	
	330	9	0,87	0,69	0,60	
	330	10	0,87	0,69	0,60	
	335	8	0,87	0,69	0,60	
	335	9	0,87	0,69	0,60	
	335	10	0,87	0,69	0,60	
	Mococa	340	10	0,92	0,72	0,66
		330	6	0,93	0,75	0,70
		330	7	0,93	0,75	0,70
330		8	0,93	0,75	0,70	
335		6	0,93	0,75	0,70	
335		7	0,93	0,75	0,70	
335		8	0,93	0,75	0,70	
340		6	0,93	0,75	0,70	
340		7	0,93	0,75	0,70	
340		8	0,93	0,75	0,70	
<b>Média</b>	<b>335</b>	<b>7</b>	<b>0,91</b>	<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	

**d:** índice “d” de concordância de Willmott; **R<sup>2</sup>:** coeficiente de determinação; **c:** índice “c” de confiança.

## Conclusões

**a)** A evapotranspiração potencial acumulada a partir de abril e a precipitação pluvial, que ocorre após as gemas florais atingirem a maturação, são elementos climáticos importantes para serem utilizados na estimativa da época da florada plena do cafeeiro arábica, nas condições tropicais do Estado de São Paulo.

**b)** O modelo agrometeorológico parametrizado, que considera o valor de ETp acumulado a partir de abril igual a 335 mm, para as gemas florais atingirem a maturação, e um mínimo de 7 mm de chuva, para quebrar a dormência das gemas maduras, apresentou boa capacidade de indicar a época da plena floração do cafeeiro arábica, com erros de estimativa inferiores ao modelo original de Camargo e Camargo (2001), podendo ser incorporado a modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade, que necessitam desta importante informação fenológica.

## Referências Bibliográficas

- Camargo, A.P.; Camargo, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. Artigo de Revisão. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- 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).
- Camargo, A.P.; Sentelhas, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.89-97, 1997.
- Camargo, M.B.P.; Santos, M.A.; Pedro Junior, M.J.; Fahl, J.I.; Brunini, O.; Meireles, E.J.L.; Bardin, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café (*Coffea arabica L.*): resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. Anais. Porto Seguro: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p.75-76.
- Carvalho, L.G. de; Sedyama, G.C.; Ccecon, P.R.; Ramos Alves, H.M. Avaliação de um modelo agrometeorológico para previsão de produtividade de café em três localidades da região sul do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.11, n.2, p.343-352, 2003.
- Damatta, F.M.; Rena, A.B. Relações hídricas no cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. Anais. Brasília, DF: Embrapa Café, 2002. p.9-44.
- Santos, M.A.; Camargo, M.B.P. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.1, p.173-183, 2006.
- Thorntwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v 38, p. 55-94, 1948.
- Thorntwaite, 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).
- Wilmott, C.J., Ackleson, S.G.; Davis, J.J., et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geography Research*. v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.