

# AVALIAÇÃO DOS MODELOS BETA, RCM E GDD NA PREDIÇÃO DE TRÊS SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM

RICARDO GUIMARÃES ANDRADE <sup>1</sup>; GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA <sup>2</sup>;  
RAFAEL COLL DELGADO <sup>3</sup>; EVALDO DE PAIVA LIMA <sup>4</sup>; SADY JÚNIOR  
MARTINS DA COSTA DE MENEZES <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, D.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG, [rgandrade@vicosa.ufv.br](mailto:rgandrade@vicosa.ufv.br).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular Ph.D., Depto. de Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Meteorologista, M.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>4</sup> Meteorologista, D.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola/Meteorologia Agrícola, UFV/Viçosa – MG.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, M.Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

Apresentado no  
XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
02 a 05 de Julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** Dados fenológicos provenientes de pesquisas realizadas com a cultura do feijão foram utilizados com objetivo de avaliar os modelos Beta, RCM e GDD em relação à predição de três subperíodos de desenvolvimento. Os resultados obtidos possibilitaram concluir que os modelos Beta e RCM foram idênticos na predição fenológica de cada subperíodo. Além disso, de forma geral, os modelos Beta e RCM tiveram desempenho bem próximos ao modelo GDD com melhores estimativas nos subperíodos da sementeira-floração e floração-colheita.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelos, subperíodos, feijão, fenologia.

## EVALUATION OF THE BETA, RCM AND GDD MODELS FOR PREDICTION OF THE DRY BEAN CROPS THREE DEVELOPMENT PHASES

**ABSTRACT:** Phenological data from dry bean crops experiments were used with the objective of evaluating the Beta, RCM and GDD models for prediction of three bean development phases. The results showed that the Beta and RCM models were identical for prediction of the dry bean phenological stages duration. Moreover, in general, the Beta and RCM models presented a very close performance to the GDD model with better estimates in the sowing-flowering phase and from flowering to harvesting.

**KEYWORDS:** models, development phase, bean crop, phenology.

**INTRODUÇÃO:** Estudos das interações clima-planta foram iniciados em 1730 quando Réaumur introduziu o conceito de graus-dia de desenvolvimento (GDD) ou unidades térmicas. Desde então, vários modelos foram prosperamente utilizados nas ciências agrícolas com particularidade na área de fenologia (McMaster & Wilhelm, 1997). O GDD é um modelo que relaciona linearmente a taxa de desenvolvimento (TD) para temperaturas do ar acima da temperatura base ( $T_b$ ) de um cultivar específico. Muitos pesquisadores têm adotado um modelo bilinear (BLM) que utiliza duas equações lineares diferentes para descrever a resposta da planta nas condições subótimas (temperaturas entre  $T_b$  e  $T_o$  (temperatura ótima)) e supra-ótimas (temperaturas entre  $T_o$  e  $T_s$  (temperatura base superior)), contudo, apesar do BLM responder as condições supra-

ótimas, nem sempre descreve bem a TD, pois geralmente requer considerável extrapolação na estimativa dos valores de  $T_b$  e  $T_s$  (Yan & Hunt, 1999). Gao et al. (1992), pesquisando a cultura do arroz, propuseram o RCM (Rice Clock Model), que é um modelo não-linear, que responde ao declínio da TD a temperaturas supra-ótimas. Entretanto, o RCM apresenta um problema de descontinuidade em  $T_o$ . No intuito de resolver este problema, Yin et al. (1995) introduziram o modelo Beta, em que se assemelha ao RCM, mas apresenta menos parâmetros, e permite pontos de inflexão em qualquer lado da curva. Este trabalho objetivou avaliar os modelos Beta, RCM e GDD, comparando o modelo Beta com os demais na predição de três subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijão.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos utilizados para o feijão, cultivar Negrito 897, foram obtidos na estação do INMET, localizada no município de Viçosa, MG (20°45'14"S; 42°52'55"W; 648,82m). Simultaneamente, os dados de duração dos subperíodos semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita foram obtidos por Calil (1983), Mantovani (1986) e Souza (1989). Os modelos RCM (Gao et al., 1992), Beta (Yin et al., 1995) e GDD (Arnold, 1959), são descritos pelas seguintes equações, respectivamente:

$$TD = \exp(k) \left( \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^\alpha \left( \frac{T_s - T}{T_s - T_o} \right)^\beta \quad (1)$$

$$TD = \exp(\mu) (T - T_b)^\alpha (T_s - T)^\beta \quad (2)$$

$$GDD = \sum_{d_i} \left[ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b \right] \quad (3)$$

em que,  $k$ ,  $\mu$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros do modelo; TD, a taxa de desenvolvimento para o subperíodo em estudo,  $d^{-1}$ ,  $0 < TD < 1$ ;  $T$ , a temperatura média durante o subperíodo, °C;  $T_s$ , a temperatura base superior, °C;  $T_b$ , a temperatura base, °C;  $T_o$ , a temperatura ótima para o desenvolvimento, °C; GDD é o total de graus-dia necessários para a planta atingir um determinado subperíodo de desenvolvimento;  $T_{\max}$  é a temperatura do ar máxima diária do  $i$ -ésimo plantio, °C;  $T_{\min}$ , a temperatura do ar mínima diária do  $i$ -ésimo plantio, °C;  $d_i$  é o número de dias requeridos para a planta atingir um determinado subperíodo de desenvolvimento para o  $i$ -ésimo plantio.

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $k$  e  $T_s$  dos modelos Beta e RCM foram obtidos pelo software "STATISTICA", versão 6.0. Para o parâmetro  $T_b$ , foram adotados os valores médios estimados por Andrade et al. (2005) para os três subperíodos do feijão, cultivar Negrito 897, conforme mostra a Tabela 1. A  $T_o$  foi estimada, empregando-se a seguinte equação:

$$T_o = \frac{\alpha T_s + \beta T_b}{\alpha + \beta} \quad (4)$$

Tabela 1 - Valores médios de temperatura base estimados por Andrade et al. (2005) para os três subperíodos da cultura do feijão (Negrito 897)

Cultura	Cultivar	Subperíodo	$T_b$ Média
Feijão	Negrito 897	Semeadura-Florescimento	9,7
		Florescimento-Colheita	5,8
		Semeadura-Colheita	7,2

Para avaliação dos modelos Beta, RCM e GDD, utilizou-se a análise de concordância de Willmott (d), erro absoluto médio (EAM) (Willmott et al., 1985) e o erro-padrão da estimativa (EPE), conforme as expressões:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right\} \quad (5)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (6)$$

$$EPE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

em que,  $P_i$ , representa o número de dias estimado para o subperíodo em estudo;  $O_i$ , é o número de dias observado para o subperíodo em estudo;  $O$  é o valor médio de dias observados para o subperíodo em estudo e  $n$  é o número de plantios analisados.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $k$ ,  $T_b$ ,  $T_s$ , e  $T_o$  dos modelos Beta e RCM, que foram estimados e utilizados na predição fenológica dos subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijão (Negrito 897). Com exceção de  $T_b$  que vem da Tabela 1 e  $T_o$  estimado pela equação 4, os demais parâmetros da Tabela 2 foram obtidos por meio do software STATISTICA 6.0. Para tanto, foram adotados valores iniciais dos parâmetros  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $k$  e  $\beta$  próximos aos valores estimados por Yin et al. (1995), sendo que, os valores iniciais do parâmetro  $T_s$ , adotados nos três subperíodos da cultura do feijão, foram de 37°C (Ellis et al., 1992) e 30°C (Barbano et al., 2001), respectivamente. Ao obter os parâmetros  $\mu$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , realizou-se a estimativa da  $T_o$  pela equação 4. Uma verificação importante sobre os parâmetros  $T_b$  e  $T_s$  dos modelos Beta e RCM, é a baixa sensibilidade dos modelos à variação destes parâmetros, esta observação também foi feita por Yin et al. (1995).

Tabela 2 - Valores de parâmetros dos modelos Beta e RCM estimados para os três subperíodos da cultura do feijão (Negrito 897)

Cultivar	*Subperíodo	Parâmetro						
		$\mu$	$\alpha$	$\beta$	$k$	$T_b$	$T_s$	$T_o$
Negrito 897	S-F	-9,2695	1,6938	0,5925	-3,5951	9,7	30,9	25,4
	F-C	-9,7545	1,6960	0,6003	-3,6728	5,8	30,9	24,3
	S-C	-9,6016	1,5397	0,4466	-4,3622	7,2	31,0	25,7

\* S-F semeadura-floração, F-C floração-colheita, S-C semeadura-colheita.

A Figura 1 mostra a comparação entre dias observados e estimados pelos modelos Beta, RCM e GDD. Os modelos Beta e RCM apresentaram os mesmos resultados, com isso, estão representados pelo mesmo eixo. Já a Tabela 3 apresenta os coeficientes de determinação ( $r^2$ ), concordância de Willmott (d), erro médio absoluto (EAM) e o erro-padrão da estimativa (EPE) para análise estatística da predição dos subperíodos com os modelos Beta, RCM e GDD. Na Figura 1 e Tabela 3 nota-se que nos três subperíodos analisados, os modelos Beta e RCM tiveram resultados de d, EAM,  $r^2$  e EPE muito próximos quando comparados com o modelo GDD. Além disso, observa-se que para o subperíodo semeadura-floração os modelos (Beta, RCM e GDD) obtiveram os melhores resultados quando comparados ao demais subperíodos.

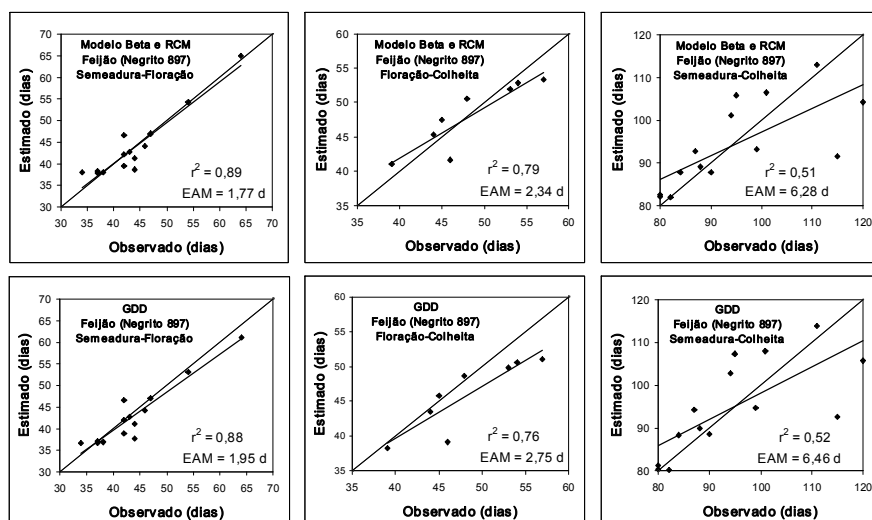


Figura 1 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do feijão, cultivar Negrito 897, nos subperíodos semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita.

Também pode ser visto que no subperíodo semeadura-colheita houve um baixo ajuste dos modelos (Beta, RCM e GDD) apresentando EPE superior a 9,15 dias, EAM superior a 6,28 dias,  $r^2$  inferior a 0,52 e d de 0,80.

Tabela 3 – Análise de concordância de Willmott (d), erro médio absoluto (EAM, em dias), coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e erro-padrão da estimativa (EPE, em dias) da predição fenológica com os modelos Beta, RCM e GDD em três subperíodos da cultura do feijão (Negrito 897)

Cultura	Cultivar	*Subperíodo	d		EAM		$r^2$		EPE	
			BETA	BETA	BETA	BETA	BETA	BETA		
			GDD	e GDD	e GDD	e GDD	e GDD	e GDD		
Feijão	Negrito 897	S-F	0,91	0,92	1,95	1,77	0,88	0,89	2,77	2,58
		F-C	0,82	0,89	2,75	2,34	0,76	0,79	3,88	2,77
		S-C	0,80	0,80	6,46	6,28	0,52	0,51	9,15	9,22

\* S-F semeadura-floração, F-C floração-colheita, S-C semeadura-colheita.

Um ponto importante que pode ser visto, ao analisar os resultados estatísticos da Tabela 3, bem como a comparação entre dias observados e estimados com os modelos Beta, RCM e GDD (Figura 1), é que, assim como ocorreu com o modelo linear (GDD), a predição dos subperíodos das culturas com os modelos não-lineares (Beta e RCM) será mais precisa, quando a temperatura do ar estiver altamente correlacionada à duração dos subperíodos, pois estes modelos são desenvolvidos de forma a descrever a taxa de desenvolvimento como uma função, que varia de acordo com a temperatura do ar.

**CONCLUSÕES:** Os modelos Beta e RCM foram idênticos na predição fenológica de cada subperíodo de desenvolvimento, e, tiveram desempenho bem próximos ao modelo GDD com melhores estimativas nos subperíodos da semeadura-floração e floração-colheita.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; ZOLNIER, S.; COSTA, L. C. Avaliação de métodos para estimativa da temperatura-base para as culturas de milho (*Zea mays L.*) e

feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 13: 316-326, 2005.

ARNOLD, C. Y. The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, 74: 430-445, 1959.

BARBANO, M. T.; BRUNINI, O.; WUTKE, E. B. et al. Comparação entre valores observados e estimados de duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9 (1): 103-110, 2001.

CALIL, A. C. P. **Avaliação das populações de pragas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*), em seis épocas de plantio, utilizando a tabela de vida.** Viçosa, UFV, 1983. 92p. (Tese de mestrado).

ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; EDMEADES, G. O. & ROBERTS, E. H. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. **Crop Science**, 32: 1225-1232, 1992.

GAO, L.; JIN, Z.; HUANG, Y. & ZHANG, L. Rice clock model a computer model to simulate rice development. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 60: 1-16, 1992.

MANTOVANI, C. E. **Determinação do coeficiente de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) irrigado, em duas épocas de plantio.** Viçosa, UFV, 1986. 73p. (Tese de mestrado).

McMASTER, G. S. & WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 87: 291-300, 1997.

SOUZA, A. **Avaliação agroclimática de quatro microrregiões do Estado de Minas Gerais para alguns cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*).** Viçosa, UFV, 1989, 70p. (Tese de mestrado).

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J. & ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, 90: 8995-9005, 1985.

YAN, W. & HUNT, L. A. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, London, 84: 607-614, 1999.

YIN, X.; KROPFF, M. J.; MCLAREN, G. & VISPERAS, R. M. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 77: 1-16, 1995.