

## **Avaliação das Produtividades e Épocas de Semeadura Usando o Modelo CSM-CERES-Sorghum**

Marine Cirino Grossi<sup>1</sup>, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade<sup>2</sup> e Flávio Barbosa Justino<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. <sup>1</sup>marine.grossi@ufv.br e <sup>3</sup>f.justino@ufv.br. <sup>2</sup>Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais. camilo@cnpmc.embrapa.br.

**RESUMO** – Os modelos de crescimento de plantas têm sido utilizados como uma importante ferramenta para determinação da melhor época de semeadura e previsão de safras. O presente trabalho teve como objetivos calibrar e avaliar o modelo CSM-CERES-Sorghum e aplicá-lo para simular produtividades e cenários de épocas de semeadura para o sorgo granífero com base em observações do INMET. Três regiões que compreendem os municípios de Sete Lagoas (MG), Janaúba (MG) e Rio Verde (GO) foram avaliadas. Os resultados mostraram que o modelo CSM-CERES-Sorghum foi capaz de simular corretamente o ciclo fenológico e as variáveis de crescimento que foram observados em plantios irrigados nos três municípios. A partir das médias das produtividades simuladas para 52 datas de semeadura nos três locais, notou-se que Sete Lagoas as condições climáticas são as mais favoráveis à cultura do sorgo. A produtividade potencial simulada foi superior a 5000 kg ha<sup>-1</sup> para os três municípios. De acordo com a metodologia empregada, em Janaúba a semeadura do sorgo deve ser realizada entre os finais dos meses de outubro e novembro. Em Sete Lagoas e Rio Verde a semeadura deve ocorrer entre meados de outubro e meados de dezembro e janeiro, respectivamente.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L. Moench, calibração, séries climáticas, BRS 310, DSSAT.

### **Introdução**

Por ser um bom produtor de palhada, o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem sido empregado no Brasil no sistema de plantio direto em rotação com a cultura da soja, principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Devido a sua maior resistência ao estresse hídrico em relação ao milho, tem sido cultivado na segunda safra na região central do país. Estes dois fatores ajudam a explicar o crescimento na produção de sorgo observado nos últimos anos no Brasil (DUARTE, 2003).

Os modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas são uma importante ferramenta para a determinação da melhor época de semeadura e para a previsão de safras. Entre os modelos de sorgo, encontra-se o CSM-CERES-Sorghum, parte integrante do módulo CERES (*Crop Estimation Through Resource and Environment Synthesis*) do DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*). É baseado no modelo CERES-Sorghum descrito por Alagarswamy *et al.* (1988), que leva em conta os seguintes processos: desenvolvimento fenológico; crescimento das folhas, colmo e raízes; acumulação e partição da biomassa. Os modelos DSSAT (HOOGENBOOM *et al.*, 2010) consideram ainda o balanço de nitrogênio e água no solo. Tendo em vista a necessidade de gerar recomendações práticas ao agricultor aliado ao fato de que existem poucos estudos de modelagem para a cultura do sorgo no Brasil, o presente trabalho teve como objetivos calibrar o modelo CMS-

CERES-Sorghum e aplicá-lo para avaliar as produtividades e as épocas de semeadura da cultura do sorgo em três municípios brasileiros.

### **Material e Métodos**

A calibração e avaliação do modelo foram feitas a partir de experimentos de campo conduzidos nos municípios de Janaúba (Lat.15,80°S, Long. 43,30°O, Elev. 516m) e Sete Lagoas (Lat. 19,47°S, Long. 44,25°O, Elev. 732m) e de informações coletadas em plantios realizados em Rio Verde (Lat. 17,80°S, Long. 50,92°O, Elev. 774m). Em todos os plantios utilizou-se a cultivar de sorgo granífero BRS 310. Na Tabela 1 são apresentadas algumas características e os códigos criados para identificar os ensaios, bem como a indicação daqueles que foram usados na calibração dos coeficientes genéticos ou na avaliação do modelo. Os plantios foram realizados em Latossolo Vermelho muito argiloso em Sete Lagoas, Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média em Janaúba e Latossolo Vermelho argiloso em Rio Verde. As adubações nitrogenadas e as irrigações aplicadas no campo foram inseridas no modelo. Empregou-se o método Penman-Monteith (FAO-56) para o cálculo da evapotranspiração potencial. Dessa maneira, as variáveis meteorológicas utilizadas foram precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), radiação solar global ( $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ ), temperatura máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (%) e velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) obtidas a partir de observações nas estações de superfície convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presentes nos três locais. Calcularam-se as porcentagens de desvios (PD) dos valores simulados em relação à média dos dados observados, além dos índices estatísticos eficiência de modelagem (EFM), raiz do erro quadrático médio (REQM), índice de concordância d de Wilmott (1985) e viés médio (VM). A segunda etapa do trabalho consistiu em realizar simulações da produtividade potencial e em regime de sequeiro utilizando-se o modo sazonal do DSSAT, no qual as condições iniciais do solo e de manejo são repetidas a cada começo de simulação. Utilizaram-se séries climáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1982-2009 para os municípios de Janaúba e Sete Lagoas, e de 1998-2009 para Rio Verde. Consideraram-se os coeficientes genéticos que foram anteriormente calibrados para a cultivar BRS 310 e simulou-se um sistema de produção com espaçamento de 0,70 m entre linhas e população final igual a 18 plantas  $\text{m}^{-2}$ . Para o estabelecimento do período de semeadura empregou-se a metodologia denominada “redução da produtividade por época de semeadura” descrita no trabalho de Amaral *et al.* (2009). Para isto, inicialmente foram calculadas as produtividades médias, simuladas para 52 épocas de semeadura e 28 anos

(Janaúba e Sete Lagoas) e 12 anos (Rio Verde). Posteriormente, calculou-se a porcentagem de redução da produtividade em relação à época de maior produtividade, conforme Equação 1.

### **Resultados e Discussão**

Observou-se que, após a calibração, houve um bom ajuste entre os dados observados e estimados (Tabela 2). O modelo foi capaz de simular o crescimento e o desenvolvimento da cultivar BRS 310 de maneira exata e precisa. Isso pode ser comprovado por meio dos altos valores dos coeficientes  $d$  e EFM, iguais a 0,99 nos plantios SL0902 e SL1001. Observando-se as variáveis medidas na colheita final, percebe-se que o modelo simulou corretamente a produtividade de grãos, sendo a diferença de apenas 8,1Kg ha<sup>-1</sup> entre o valor simulado e observado. A fitomassa aérea, que é soma dos pesos secos das folhas, panículas e colmo, também foi simulada corretamente com PD igual a -5,6%. Nota-se que o modelo simulou a evolução do índice de área foliar (IAF) ao longo do plantio SL0902, apresentando pequenos erros e altos coeficientes EFM (0,84) e  $d$  (0,95) (Figura 1).

Ao utilizar os dados dos demais plantios na avaliação do modelo, observou-se que também houve conformidade entre os dados observados e estimados (Tabela 3). Com exceção do plantio RV1001, as porcentagens de desvio para a maturidade fisiológica ficaram sempre abaixo de 10%. Em termos de estimativas de produtividade de grãos, percebe-se que o modelo simulou valores sempre superiores aos observados, com PD variando entre 4,5% e 18,9%. Esse tipo de resultado é esperado visto que nos experimentos de campo podem ocorrer pequenas perdas durante a colheita ou transporte dos grãos.

Avaliando-se os resultados das produtividades de sequeiro simuladas a partir das séries climáticas do INMET (Figura 2a), nota-se que ocorreram grandes diferenças entre os três locais. Para todas as épocas de semeadura analisadas, Sete Lagoas (MG) apresentou os maiores rendimentos da cultura enquanto que em Janaúba (MG) foram observados os menores valores. As produtividades médias máximas foram iguais a 4003 kg ha<sup>-1</sup>, 5203 kg ha<sup>-1</sup> e 6476 kg ha<sup>-1</sup> e as mínimas iguais a 12 kg ha<sup>-1</sup>, 85 kg ha<sup>-1</sup> e 104 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente para Janaúba, Rio Verde e Sete Lagoas. As diferenças entre os resultados são explicadas pelos padrões climáticos distintos entre os três municípios. Em Janaúba, além dos índices de precipitação serem menores que os índices de Rio Verde e Sete Lagoas, soma-se o fato das temperaturas elevadas aumentarem a demanda evaporativa do local. Assim, já era previsível encontrar maior penalização da produtividade do sorgo conduzido em regime de sequeiro neste município. A posição ocupada por Rio Verde, com menores produtividades em relação ao município de Sete Lagoas, pode ser atribuída à questão dos menores índices de radiação

solar incidente naquele local. Freitas *et al.* (2001) ao utilizar o modelo CERES do DSSAT para a cultura do milho, notaram que a diferença de radiação solar ocorrida no período de florescimento até a maturidade fisiológica foi determinante para que se verificassem as variações entre as produtividades dos 2 anos avaliados.

Observando-se os resultados obtidos pela simulação considerando produtividade potencial, ou seja, sob condições hídricas e de fertilidade ideais, nota-se que Janaúba passou a apresentar produtividades mais elevadas que Rio Verde (Figura 2b). Assim confirma-se o fato de que, em Janaúba apesar das condições climáticas serem favoráveis ao sorgo, em termos de incidência de radiação e temperatura do ar, a disponibilidade hídrica é um fator que limita o rendimento da cultura. Na Figura 2b, observa-se também que todos os valores de produtividade potencial foram superiores a 5000 kg ha<sup>-1</sup> e a variabilidade entre as épocas de semeadura foi bem menor em relação aos resultados de simulações em regime de sequeiro.

Ao avaliar as reduções da produtividade da cultura (Figura 3), observou-se que entre as 52 datas simuladas, a maior média de produtividade ocorreu nas semeaduras em 14 de novembro, 26 de dezembro e 7 de novembro para os municípios de Janaúba, Rio Verde e Sete Lagoas, respectivamente. Aceitando-se uma redução na produtividade de até 10%, por exemplo, em Janaúba a janela de plantio seria de 24 de outubro a 21 de novembro, em Rio Verde seria de 17 de outubro a 16 de janeiro e em Sete Lagoas seria de 17 outubro a 19 de dezembro. É possível observar, que principalmente em Janaúba e Rio Verde, ocorrem picos nas curvas de redução da produtividade. A isso atribuíram-se as quedas nos índices de radiação solar incidentes, sobretudo no mês de dezembro, devido ao aumento da nebulosidade. Estes picos podem ser também associados aos veranicos, que se caracterizam por períodos de interrupção da precipitação durante o período chuvoso. De acordo com Minuzzi *et al.* (2006), a ocorrência de veranicos pode afetar a produtividade das culturas agrícolas, especialmente quando coincide com as fases em que a planta é mais sensível ao déficit hídrico.

### **Conclusão**

Após o processo de calibração dos coeficientes genéticos, o modelo CSM-CERES-Sorghum simulou corretamente o desenvolvimento, crescimento e rendimento da cultivar do sorgo granífero BRS 310 em Janaúba, Rio Verde e Sete Lagoas. Comparando-se as produtividades médias dos três locais, notou-se que as condições climáticas em Sete Lagoas foram as mais favoráveis à cultura. A produtividade potencial simulada para 52 datas de semeadura foi superior a 5000 kg ha<sup>-1</sup> nos três municípios e a variabilidade entre as datas de

semeadura foi bem inferior a observada na simulação de sequeiro. De acordo com a metodologia empregada, a semeadura do sorgo deve ser realizada entre meados de outubro e meados de dezembro e janeiro, nos municípios de Sete Lagoas e Rio Verde, respectivamente. Já em Janaúba, a semeadura deve ocorrer entre os finais dos meses de outubro e novembro.

### Literatura Citada

ALAGARSWAMY, G.; RITCHIE, J.T.; GODWIN, D.C. e SINGH, U. A user's guide to CERES Sorghum. Michigan State University, ICRISAT, IFDC e IBSNAT, v. 2.1., 91 p., 1988.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. de L. T. de; OLIVEIRA, A. C. de; SILVA, D. de F.; SANTANA, C. B. de; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. de. Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho. Embrapa Milho e Sorgo, Documentos 88, Sete Lagoas, 13 p., 2009.

DUARTE, J.O. Sorgo - Aspectos econômicos. Embrapa, Documento 27, Sete Lagoas, p. 65-91, 2003.

FREITAS, P.L; MANTOVANI, E. C; REZENDE, R; GONÇALVES, A. A e BERTONHA, A. Influência da radiação solar sobre os valores de produtividade da cultura do milho, *Zea mays L.*, simulados pelo modelo CERES-Maize. Acta Scientiarum, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1221-1227, 2001.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.L.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; ROYCE, F.S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A.J. E TSUJI, G.Y. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 2010.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E.M.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; CATALUNHA, M.J. Estudo climático do comportamento do período chuvoso no estado de Minas Gerais. Revista Ceres, 53 (306), p. 266 – 275, 2006.

#### Equação 1:

$$P_s = \left( 1 - \frac{Y_s}{Y_{\max}} \right) \times 100$$

Em que,

$P_s$  é a porcentagem de redução da produtividade para época “s”;

$Y_s$  é a produtividade da época “s” e,

$Y_{\max}$  é a produtividade máxima entre todas as épocas de semeadura.

**Tabela 1.** Características e códigos de identificação dos plantios.

Local	Data de semeadura	Código dos experimentos	População final de plantas (plantas m <sup>-2</sup> )	Espaçamento entre linhas (cm)
Janaúba <sup>b</sup>	17/07/2006	JA0601	24,00	50
Janaúba <sup>b</sup>	14/05/2007	JA0701	23,00	70
Rio Verde <sup>b</sup>	25/02/2009	RV0901	15,33	50
Rio Verde <sup>b</sup>	29/02/2009	RV1001	12,88	50
Sete Lagoas <sup>b</sup>	28/10/2009	SL0901	13,28	70
Sete Lagoas <sup>a</sup>	20/11/2009	SL0902	14,79	70
Sete Lagoas <sup>a</sup>	28/01/2010	SL1001	13,48	70

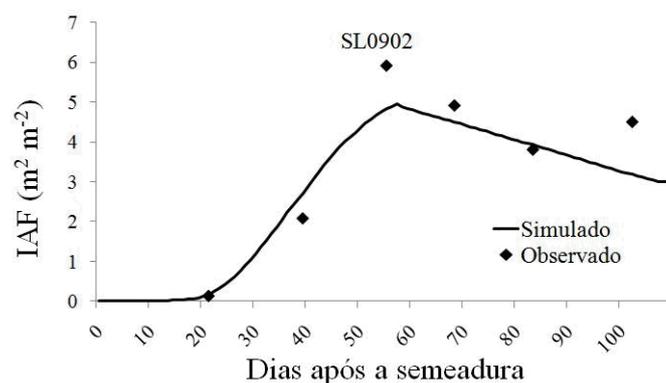
<sup>a</sup>Experimentos utilizados na calibração do modelo. <sup>b</sup>Experimentos utilizados na avaliação do modelo.

**Tabela 2.** Dados observados e valores simulados pelo modelo CSM-CERES-Sorghum para a cultivar BRS 310.

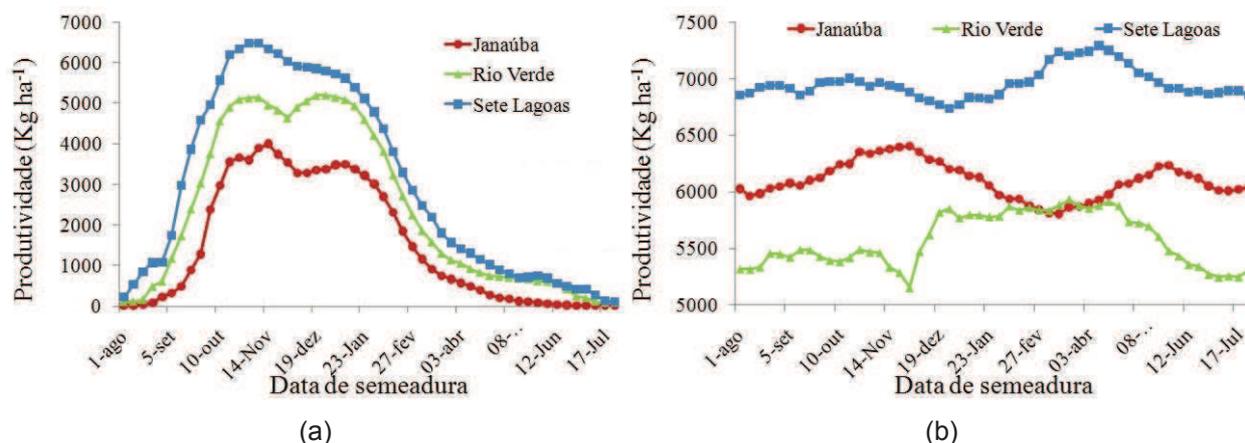
Experimento	Variável	Observado		Simulado	PD (%)	d	EFM
		Desvio padrão	Média				
SL0902	Emergência (DAS)	0,0	7	6	-14,3	0,99	0,99
	Iniciação da panícula (DAS)	0,0	36	37	2,8		
	Floração (DAS)	1,2	71	70	-1,4		
	Maturidade fisiológica (DAS)	1,9	105	109	3,8		
	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	406,1	6085	6093	0,1		
	Fitomassa aérea na maturidade (kg ha <sup>-1</sup> )	2309,8	16886	15947	-5,6		
SL1001	Emergência (DAS)	0,0	4	6	50,0	0,99	0,99
	Iniciação da panícula (DAS)	0,0	32	32	0,0		
	Floração (DAS)	1,0	67	64	-4,5		
	Maturidade fisiológica (DAS)	1,5	113	112	-0,9		

**Tabela 3.** Maturidade fisiológica e produtividade de grãos observados e simulados pelo modelo CSM-CERES-Sorghum. Experimentos usados na avaliação do modelo.

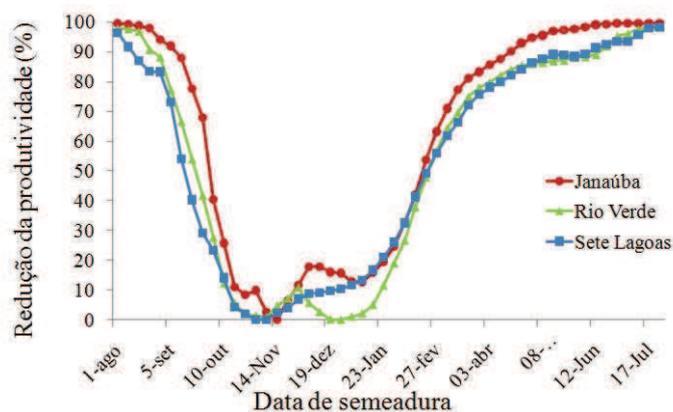
Variável	Experimento	Observado		Simulado	PD(%)
		Desvio padrão	Média		
Maturidade Fisiológica (DAS)	JA0601	3,5	97	105	8,2
	JA0701	0	114	112	-1,8
	RV0901	-	124	117	-5,6
	RV1001	-	136	114	-16,2
	SL0901	1,7	107	111	3,7
Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	JA0601	1213	4369	4570	4,6
	JA0701	1449	4870	5339	9,6
	RV0901	-	5051	5363	6,2
	RV1001	-	4244	5034	18,6
	SL0901	391	5065	6020	18,9



**Figura 1.** Índice de área foliar observado no experimento SL0902 e simulado pelo modelo CSM-CERES-Sorghum.



**Figura 2.** Produtividades médias de sorgo granífero simuladas a partir das séries climáticas do INMET, em condições de sequeiro (a) e potencial (b). Valores referentes aos períodos de 1982 a 2009 para Janaúba (MG) e Sete Lagoas (MG) e de 1998 a 2009 para Rio Verde (GO).



**Figura 3.** Redução média da produtividade de sorgo granífero em função da data da semeadura em Janaúba (a), Rio Verde (b) e Sete Lagoas (c), em condições de sequeiro.