

# TESTE DE UM MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA CULTURA DA SOJA

Williams Pinto Marques Ferreira<sup>1</sup>  
Luiz Cláudio Costa<sup>2</sup>  
Cecília de Fátima Souza<sup>2</sup>

## RESUMO

Com o objetivo de verificar o efeito do clima sobre a produtividade da cultura da soja em Minas Gerais, foi desenvolvido um modelo de simulação dinâmico, mecanístico e determinístico. A principal característica do modelo foi a busca do equilíbrio entre a simplicidade no seu manuseio e o rigor científico necessário. Como variáveis de entrada, o modelo utiliza os elementos climáticos precipitação, temperatura e insolação. Os resultados mostraram que o modelo simulou satisfatoriamente a produtividade da soja para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, evidenciando as diferenças morfológicas e fisiológicas da cultura, em resposta às variações climáticas, o que evidencia o seu alto potencial de aplicação no entendimento das relações entre clima e cultura.

**Palavras chave:** soja; mudanças climáticas, modelo agrometeorológico; produtividade; *Glicine max (L.) Merril.*

## ABSTRACT

### AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR STUDYING THE INFLUENCE OF CLIMATIC VARIATION ON SOYBEAN

A dynamic-mechanistic-deterministic simulation model was developed to evaluate the effects of the climatic variation on the productivity of soybean in the State of Minas Gerais, Brazil. The main characteristic of the developed model was the equilibrium between its management simplicity and the required scientific accuracy. The model uses the climatic elements as the input variables, that is, rainfall, temperature and insolation as they are easily obtained. The results showed that the model simulated satisfactorily the productivity changes for soybean in the sowing dates for the agricultural years of 1995/96 and 1996/97, showing the crop morphological and physiological differences in response to climatic variability, emphasizing its high potential for application.

**Key words:** soybean; climate change, agrometeorological model; productivity; *Glicine max (L.) Merril.*



<sup>1</sup> Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, l.costa@ufv.br

## INTRODUÇÃO

O recente relatório apresentado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) indica que dentre os diversos fatores que afetam a atividade agrícola, as mudanças climáticas passam a ser motivo de grande preocupação para o setor. De acordo com os modelos considerados pelo IPCC, a temperatura deve aumentar nos próximos 100 anos, considerando o ano de 1990 como referência, dependendo da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs), entre 2,4°C a 5,4°C. Estudos do IPCC indicam ainda um aumento da frequência de ocorrência e intensidade de fenômenos climáticos extremos tais como secas, veranicos e ondas de calor.

Assim, considerando que a agricultura é a atividade humana mais diretamente afetada pelas mudanças climáticas e que os impactos das mudanças climáticas na agricultura estão diretamente relacionados a questão da segurança alimentar, existe, em todas as regiões do mundo uma grande preocupação sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura.

Na busca do entendimento e da quantificação da complexa interação entre clima e cultura, têm-se observado nos últimos anos, um crescente aumento na utilização de modelos de simulação na agricultura. Tais modelos têm se mostrado extremamente eficientes na análise das flutuações espaço-temporal e de cenários futuros na produtividade agrícola de diferentes culturas em respostas as mudanças climáticas (Betts *et al.*, 2004, Hansen & Indeje, 2004; Popova & Kercheva, 2004; Trnka *et al.*, 2004, Costa & Barros, 2001).

Segundo Brouwer (1962), as correlações de crescimento entre os diversos órgãos da planta são feitas entre as taxas de crescimento e, conseqüentemente, são governadas tanto pelas condições internas da planta quanto pelas condições do ambiente.

Estudos têm mostrado que variações de longo prazo na produtividade das culturas são causadas por fatores como a introdução de novas técnicas de manejo, as variedades e os insumos. Por outro lado, variações de curto prazo na produtividade, ou seja, de um ano para o outro, são devidas principalmente às alterações climáticas.

Os estudos da interação clima-cultura têm alcançado grande desenvolvimento nos últimos anos, e vêm sendo desenvolvidos por meio da análise dos aspectos físicos, fisiológicos e agrometeorológicos, envolvidos

nesta interação. Além da experimentação agrometeorológica convencional, que tem como característica grande demanda de tempo e equipamentos, ferramentas matemáticas, estatísticas e modelos de simulação vêm sendo empregadas na análise dos efeitos do meio ambiente sobre a produtividade agrícola. A aplicação dessas técnicas constitui uma ferramenta eficiente na quantificação desses efeitos (Monteith, 1981).

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Visando obter um conhecimento mais profundo sobre as respostas da cultura ao ambiente, os modelos de simulação são utilizados como ferramenta de grande potencial na área de sistemas cultivados, pois possibilitam o estudo e entendimento do conjunto, estimando o desempenho da cultura em diferentes localidades e situações.

Diversos trabalhos sobre esse tema são encontrados em literatura, abordando desenvolvimento, testes e análises de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade de diferentes culturas agrícolas no Brasil (Berlato, 1987; Fontana *et al.*, 2001 Costa & Santos, 2000, Costa & Barros, 2001).

Os modelos empírico-estatísticos são utilizados, na sua maioria, nas previsões operativas dos rendimentos das colheitas para os cultivos anuais de cereais devido à sua importância na produção mundial de alimentos e também no comércio internacional. Tem-se também utilizado, com êxito, esses modelos de previsão para soja, linho, beterraba-açucareira, cana-de-açúcar e outras culturas de caráter nacional ou regional, segundo McQuigg (1975).

Uma das limitações dos modelos empírico-estatísticos é que a sua utilização limita-se ao local de experimentação, sem possibilidades de generalização no tempo e no espaço. A incorporação de forma descritivo-numérica de parâmetros que representem o mecanismo fisiológico dos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal vem sendo utilizada com o objetivo de melhorar os estimadores dos modelos, sejam eles polinomiais ou não. Trabalhos dessa natureza foram conduzidos por Grimm *et al.* (1993), com o objetivo de determinar parâmetros para a previsão da data de florescimento de soja, para os mais diversos climas do continente americano e como parte do modelo fisiológico denominado SOYGRO.

Atualmente, a utilização de modelos baseados em processos na agricultura tem sido amplamente utilizado em diversos países. O modelo CERES-Maize (Jones & Kiniry, 1986) simula o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de várias culturas, dentre as quais o milho e a soja, para diversas condições ambientais. Outro exemplo é o modelo WTGROWS (Aggarwal & Kalra, 1994), que relaciona os efeitos dos fatores climáticos, das características do solo e das técnicas de manejo sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do trigo.

No Brasil, ainda são poucos os estudos que se baseiam em modelos agrometeorológicos para analisar os impactos das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Assim, os objetivos desse trabalho foram avaliar, usando o modelo SOYCLIMA, desenvolvido por Ferreira (1997), as possíveis alterações da produtividade da soja em resposta as alterações climáticas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados climáticos (dados de entrada) utilizados na execução do modelo foram retirados das Normais Climatológicas (1961-1990) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Brasil, 1992) e correspondem às médias mensais de setembro a abril desta série histórica, sendo obtidos da estação meteorológica número

83514 (latitude: 18° 41' S; longitude: 49° 34' W; altitude: 620,60 m), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet, localizada na fazenda Santa Rosa em Capinópolis, na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, que é a maior região produtora de soja neste Estado (Tabela 1).

O município de Capinópolis apresenta precipitação pluvial anual de 1.530 mm, distribuída em dois períodos distintos, um chuvoso, entre os meses de outubro e abril, e outro seco, entre maio e setembro. A temperatura do ar média anual é de 23,0 °C, sendo julho o mês mais frio, 20,2 °C e outubro o mais quente, 24,7 °C.

Foram utilizados dados de produtividade da cultura da soja do município de Capinópolis, para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, obtidos junto ao IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005).

O modelo foi desenvolvido utilizando o software Model Maker 3.0 @CSPL (*Cherwell Scientific Publishing Limited*). Esse modelo simulou a produção de matéria seca diária, determinada pela intensidade de radiação, precipitação e temperatura média do ar. O modelo consistiu dos seguintes módulos: (a) climático; (b) radiação; (c) balanço de carbono; e (d) desenvolvimento e partição de matéria seca. O acúmulo de biomassa da cultura foi calculado, diariamente, baseando-se na taxa de fotossíntese bruta do dossel, estimada pela curva da

**Tabela 1.** Normais climatológicas da insolação (h), temperatura do ar (°C), precipitação pluvial (mm), e a evapotranspiração potencial média - ETP (mm), a evapotranspiração real média - ETR (mm), o excedente - EXC (mm) e a deficiência - DEF (mm) referentes ao período de 1961-1990, para a localidade de Capinópolis, MG

Ano	Insolação (horas e décimos)	T °C	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	192,5	23,8	291	113	113	-	178
Fevereiro	194,7	24,1	202	103	103	-	99
Março	203,7	24,0	189	108	108	-	81
Abril	220,3	23,3	115	92	92	-	23
Maio	255,4	21,5	41	73	70	4	-
Junho	259,9	20,3	11	59	42	18	-
Julho	278,1	20,2	11	61	33	28	-
Agosto	257,0	22,5	14	85	33	52	-
Setembro	197,4	23,9	51	101	59	42	-
Outubro	220,9	24,7	157	120	120	-	-
Novembro	203,9	24,3	180	115	115	-	-
Dezembro	167,8	23,7	268	113	113	-	149
Anual	2.615,6	23,0	1.530	1.144	1.001	144	529

FONTE: Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (1961-1990).

hipérbole retangular, com os parâmetros: taxa de fotossíntese máxima e eficiência do uso de luz. O balanço diário de carbono foi definido como a matéria seca, resultante da diferença entre a assimilação e a respiração de manutenção diária da cultura. Em seguida, o ganho de carbono simulado foi convertido em matéria seca, através da respiração de crescimento. O processo fisiológico foi caracterizado, baseando-se no tempo térmico para o florescimento e para a maturação. À

medida que se acumularam os totais de graus-dias, exigidos pela cultura para a ocorrência dos eventos fenológicos, o módulo referente à partição de assimilados distribuiu a assimilação diária entre os diferentes órgãos da planta. O rendimento de grão foi estimado, com base na percentagem de matéria seca alocada para os órgãos reprodutivos em função da fase fenológica. A simulação foi concluída, quando a cultura atingiu a maturidade fisiológica (Figura 1).

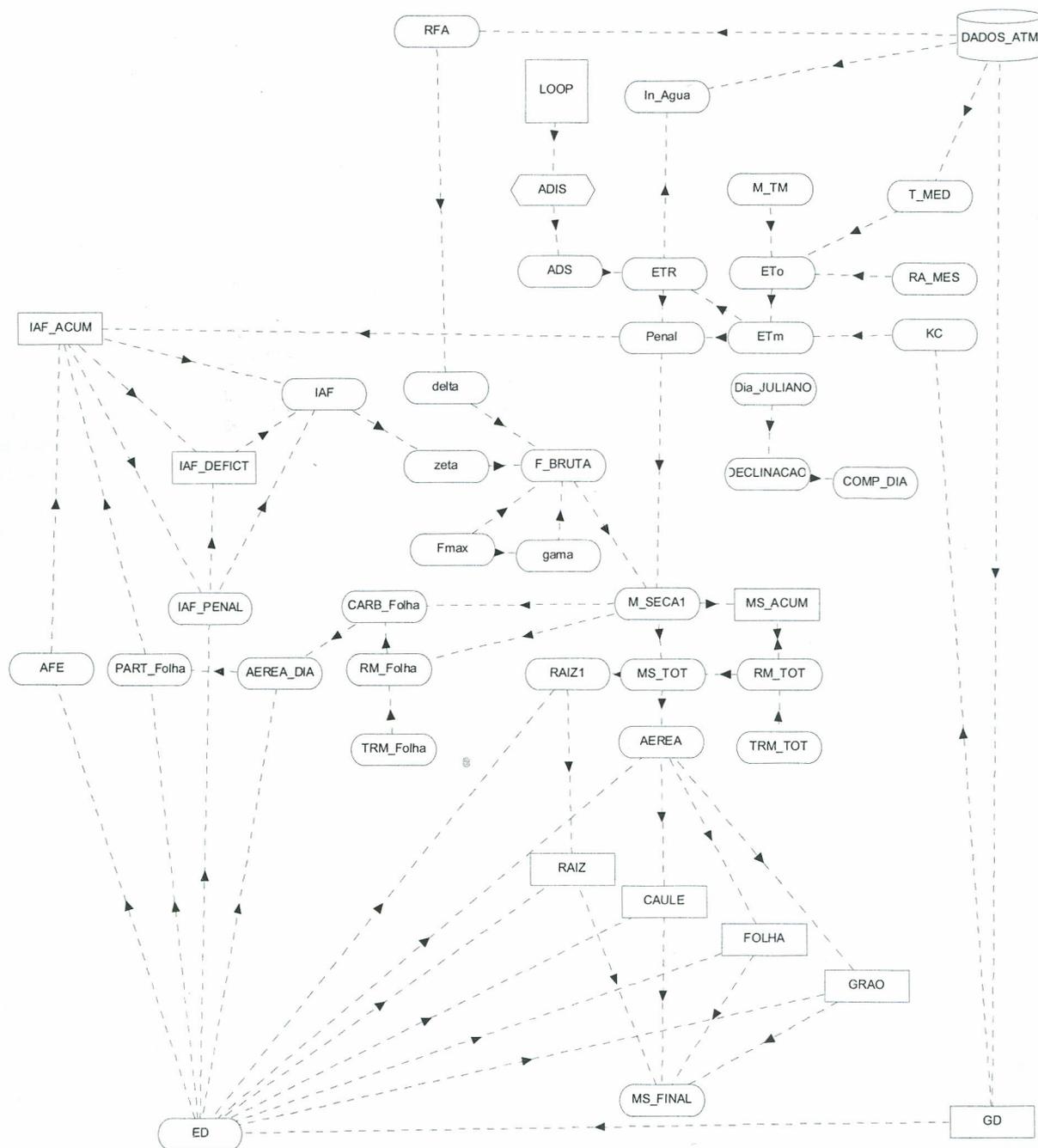


Figura 1. Fluxograma esquemático do modelo soyclima.

Como variáveis de entrada do modelo foram utilizados os dados meteorológicos médios mensais de temperatura do ar, precipitação pluvial e duração do brilho solar diário (insolação) para estimativa da radiação solar, utilizando-se a equação empírica de Angström, modificada por Prèscott (Vianello & Alves, 1991).

### Teste do Modelo

A fim de avaliar seu desempenho foram consideradas duas épocas de plantio, 15 de novembro de 1995 e 20 de novembro de 1996. Foram avaliados, o índice de área foliar (IAF), o déficit hídrico sofrido pela cultura, a taxa de fotossíntese e a partição de matéria seca para os diferentes órgãos da planta.

Com base na partição de matéria seca, foi também realizada a análise do acúmulo de matéria seca total e da produtividade final de grãos. Buscou-se ainda determinar o momento em que o balanço de carbono torna-se negativo, ou seja, o momento em que a taxa de respiração da cultura supera a fotossíntese bruta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos médios observados de novembro a fevereiro dos anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, na

região de Capinópolis-MG, e a média histórica correspondente ao período de 1961/90 são apresentados na Tabela 2. Os dados mostram que o ano agrícola de 1995/96 foi mais seco e mais quente que a média histórica e também do que o ano agrícola de 1996/97. O ano agrícola de 1995/96 foi o que apresentou maior valor de radiação solar 1.916 MJ.m<sup>-2</sup> contra 1.748 MJ.m<sup>-2</sup> alcançado em 1996/97.

Os resultados certamente foi o responsável pela menor taxa de fotossíntese e menor IAF na fase inicial do desenvolvimento da cultura. Da mesma forma, o IAF alcançou maior valor para a estação, 1995/96, em relação a estação 1996/97 (Figura 4).

Tal comportamento pode estar associado ao fato de que, embora a planta tenha sofrido um estresse hídrico na fase vegetativa, as condições climáticas para a estação 95/96 apresentaram valores de temperatura e radiação solares mais favoráveis para que fosse alcançado um maior crescimento da área foliar (Tabela 2).

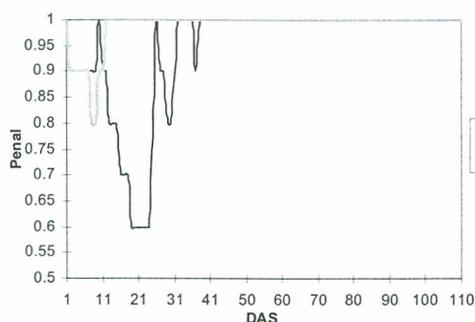
### Análise de crescimento e produtividade

A partição da matéria seca para os órgãos da planta, considerando-se as diferentes estações de semeadura, está ilustrada nas Figuras 5 e 6. Para o período de 1995/96, observa-se que, durante todo o ciclo da cultura, as folhas contribuíram sempre com a maior parte da matéria

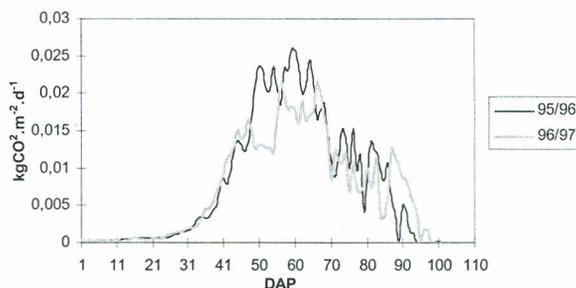
**Tabela 2.** Comparação entre os dados climáticos médios, observados no período de novembro a fevereiro nos anos agrícolas 1995/96 e 1996/97, e a média histórica (1961/90) na em Capinópolis, MG

Variáveis Climáticas	MH (1961-1990) <sup>1</sup>	Ano Agrícola	
		1995/96	1996/97
Temperatura média do ar (°C)	23,9	26,9	26,5
Precipitação pluvial (mm)	893	758	936
Radiação solar (MJ.m <sup>-2</sup> )	1.868	1.916	1.748

<sup>1</sup>MH (1961-1990)- média histórica do período de 1961-1990, referente aos meses de novembro a fevereiro



**Figura 2.** Valores de penalização da fotossíntese bruta em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para diferentes déficits hídricos, para os anos de 1995/96 e 1996/97.



**Figura 3.** Valores de fotossíntese líquida, em kg(CO<sub>2</sub>).m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>, em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para os anos de 1995/96 e 1996/97.

seca total, alcançando para este órgão, um valor final de 0,316 kg.m<sup>-2</sup> (Figura 5).

Para o período de 1996/97, o acúmulo de matéria seca nos órgãos também apresentou comportamento semelhante ao ano anterior, alcançando, para as folhas, um valor final em torno de 0,281 kg.m<sup>-2</sup> (Figura 6).

Na Tabela 3, observa-se que, para os anos de 1995/96, o caule recebeu a segunda maior parte da matéria seca, com acúmulo crescente até os 75 DAP, quando sua matéria seca máxima atingida foi 0,160 kg.m<sup>-2</sup>. A partição de matéria seca para as raízes, em relação aos outros órgãos, permaneceu menor durante todo o período de crescimento (65 DAP), cessando a partir desse ponto, quando a matéria seca passa a ser distribuída para outros órgãos da planta.

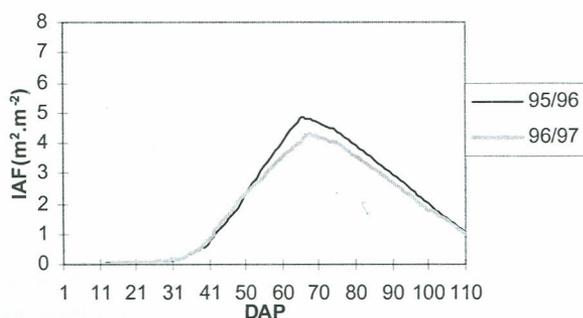


Figura 4. Valores de índice de área foliar, em m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>, em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para os anos de 1995/96 e 1996/97.

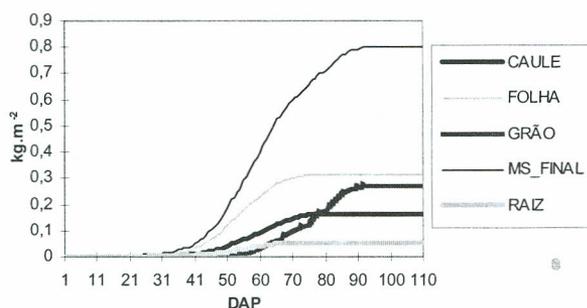


Figura 5. Partição da matéria seca, em kg.m<sup>-2</sup>, em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para os anos de 1995/96.

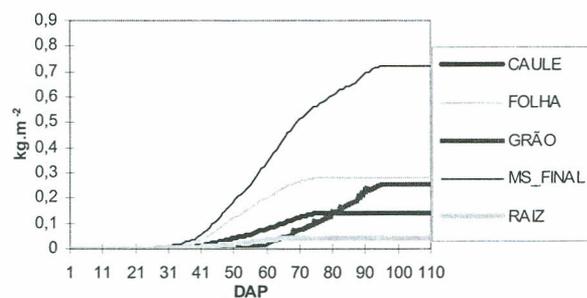


Figura 6. Partição da matéria seca, em kg.m<sup>-2</sup>, em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para os anos de 1996/97.

Para 1996/97, o caule também apresentou o mesmo comportamento do ano anterior, crescendo até os 76 DAP e atingindo o valor 0,139 kg.m<sup>-2</sup> de matéria seca acumulada. (Tabela 4).

Para os anos de 1995/96, a contribuição dos grãos na matéria seca total iniciou-se em torno dos 52 DAP e a partir dos 75 DAP, os grãos passaram a constituir o drenho preferencial, acentuado e definitivo, seguindo assim até a maturação (Tabela 3).

Para os anos de 1996/97, a contribuição dos grãos na matéria seca total foi semelhante à do ano anterior, iniciando-se próximo aos 51 DAP e, a partir dos 76 DAP, os grãos tornaram-se o drenho preferencial da planta (Tabela 4).

### Matéria seca final

O acúmulo de matéria seca total tanto para os anos 1995/96 como para 1996/97 é representado nas Figuras 5 e 6, que caracterizam o crescimento da planta em três fases que ocorreram sucessivamente, ou seja, a fase inicial, em que se observou um crescimento lento, porém todos os órgãos estavam em crescimento; a fase intermediária entre 42 e 76 DAP, na qual o crescimento foi mais acentuado e, também, onde cessou o crescimento das folhas, do caule e das raízes; e uma fase final, na qual os grãos continuavam a se desenvolver. A diferença de matéria seca total entre os anos de 1995/96 e 1996/97 foi da ordem de 10%.

Tabela 3. Valores de matéria seca, em kg.ha<sup>-1</sup>, distribuída para as folhas, caule, raízes e grãos, e de matéria seca total da soja em função de dias transcorridos após o plantio (DAP), para os anos 1995/96

DAP	Caule	Folha	Grão	Raiz	MS_final
65	1.221	2.792	630	504	5.147
75	1.602	3.160	1.302	504	6.568
94	1.602	3.160	2.745	504	8.010

Tabela 4. Valores de matéria seca, em kg.ha<sup>-1</sup>, distribuída para as folhas, caule, raízes e grãos, e de matéria seca total da soja em função de dias transcorridos após o plantio (DAP) para os anos de 1996/97

DAP	Caule	Folha	Grão	Raiz	MS_final
67	1.108	2.534	576	458	4.675
76	1.395	2.811	1.081	458	5.745
98	1.395	2.811	2.575	458	7.239

O modelo permite, também, identificar o momento em que a produção de carboidratos passa a ser menor do que a respiração. Quando permanece no campo após este dia, a cultura passa a consumir mais do que produz, ou seja, passa a utilizar suas reservas, o que resulta na interrupção do crescimento de toda a cultura, inclusive dos grãos.

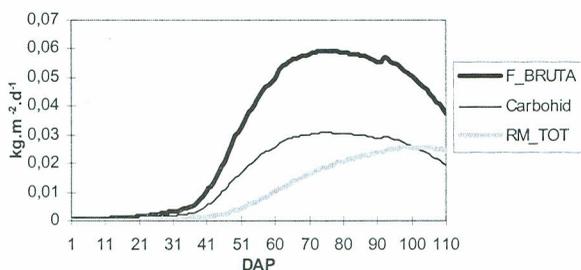
### Teste do Modelo

Na tabela 5, são apresentadas as produtividades de grãos de soja, observadas e simuladas pelo modelo para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97 na região de Capinópolis-MG. Os resultados mostram que as diferenças na produtividade de grãos em relação aos dados observados foram, respectivamente, -14,4% e -7,3% para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97.

Considerando-se as restrições próprias do modelo, as diferenças verificadas entre os valores simulados e observados nos dois anos agrícolas são justificadas pelas diferentes condições climáticas nos respectivos anos. Deve-se considerar ainda que essas diferenças são devidas à não-consideração, por parte do modelo, de outros tipos de restrições senão a hídrica, bem como aos possíveis erros embutidos na medida de produtividade observada.

**Tabela 5.** Produtividade de grãos de soja, observada e simulada pelo modelo, em kg.ha<sup>-1</sup>, durante os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, para a localidade de Capinópolis, MG

Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> )	Ano Agrícola	
	1995-1996	1996-1997
Observada	2.400	2.400
Simulada	2.745	2.575
Diferença <sup>1</sup>	-14,4	-7,3



**Figura 7.** Valores de respiração de manutenção, em kg (CO<sub>2</sub>).kg (MS)<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, dos carboidratos, em kg (CO<sub>2</sub>).m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, e da fotossíntese bruta, em kg (CO<sub>2</sub>).m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, em função de dias transcorridos após o plantio (DAP).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que o modelo foi capaz de simular satisfatoriamente o crescimento da cultura da soja para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, evidenciando as diferenças morfológicas e fisiológicas ocorridas nas culturas em resposta a mudanças climáticas. O modelo foi capaz de simular a influência do déficit hídrico na taxa de fotossíntese e no IAF da cultura. Com relação à produção de matéria seca, o modelo indicou que as folhas contribuíram sempre com a maior parte nas diferentes datas de semeadura.

O modelo foi capaz de representar o crescimento da planta nas fases inicial, intermediária e final, e permitiu, a identificação do dia em que a produção de carboidratos passa a ser menor do que a respiração.

A produtividade da soja, representada pela produtividade de grãos, apresentou diferenças em relação aos dados observados de, respectivamente, -14,4% e -7,3% para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97.

## REFERÊNCIAS

- Aggarwal PK & Kalra N (1994) Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat II. Climatically potential yields and management strategies. *Field Crops Research*, 38:93-103.
- Berlato, M.A. Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul. São José dos Campos. INPE. (Tese D.S). 93p. 1987.
- Betts, R.A., et al., 2004. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theor. Appl. Climatol.* 78 (1-3), 157-175.
- Brasil.(1992) Ministério de Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia Normais climatológicas (1961-1990). Brasília, MARA. 84p.
- Brouwer R (1962) Distribution of dry matter in the plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 10:361-75.
- Costa, L. C., Barros, A.H.C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.
- Costa, L.C. e Santos, A.A. Análise da eficiência do uso da radiação solar para as culturas de milho, soja, arroz e feijão nas diversas regiões produtoras de Minas Gerais. *Eng. Agric., Jaboticabal*, v.20, n.3, p.188-194, 2000.
- @CSPL. Model Maker 3 for Windows, version 3.0.2. Cherwell Scientific Publishing, Palo Alto, EUA, 1997.
- Ferreira WPM (1997) Desenvolvimento e teste de um modelo agrometeorológico de simulação para a cultura da soja {*Glicine max* (L.) Merrill}. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 84p.

- Fontana, D.C; Berlato, M.A; Laushener, M.H; Mello, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.3,p.399-403,2001.
- Grimm SS, Jones JW, Boote KJ & Hesketh JD (1993) Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. Crop Science, 33:137-144.
- Hansen, J.W.; Indeje, M. 2004. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. Agricultural and Forest Meteorology 125 (2004) 143–157.
- IBGE (2005) Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 janeiro 2005.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press: Cambridge, 18 p, 2007.
- Jones CA & Kiniry JR (1986) CERES-Maize: a simulation modelo of maize growth and development. College Station, Texas A&M. University Press. 194p.
- McQuigg JD (1975) Economic Impacts of Weather Variability. University of Missouri, Atmospheric Science Department. 256p.
- Monteith JL (1981) Climatic variation and the growth of crops. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 107:749-74.
- Popova, Z., Kercheva, M., 2004. Integrated strategies for maize irrigation and fertilisation under water scarcity and environmental pressure in Bulgaria. J. Irrigation and Drainage 53, 105–113.
- Trnka, M., Dubrovsky, M., Sererádova, S. and Zalud, Z. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. Theoretical and Applied Climatology. 77, 229-249, 2004.
- Vianello, R.L., ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.