



Análise de Sensibilidade dos Coeficientes Genéticos do Modelo Canegro/DSSAT
Sensitivity Analysis of Genetic Coefficients of Canegro/DSSAT Model

João Marcelo H. de Souza¹; Santiago Viana Cuadra²;
Luciana Barros Pinto¹; João Rodrigo de Castro¹; Renã Araujo¹; Ivan Rodrigues de Almeida² &
Sergio Delmar dos Anjos e Silva²

¹Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,

Av. Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, 2751, 96060-290, Arco-Íris, Pelotas, Rio Grande do Sul

²Embrapa Clima Temperado, Rodovia BR-392, Km 78, 9º Distrito, Monte Bonito, 96010-971, Pelotas, Rio Grande do Sul

E-mails: jm.hoffmann@yahoo.com.br; santiago.cuadra@embrapa.br; luciana.pinto@ufpel.edu.br; joaorodrigo2005@gmail.com;
rena543@gmail.com; ivan.almeida@embrapa.br; sergio.anjos@embrapa.br

Recebido em: 11/04/2017 Aprovado em: 05/06/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_47_52

Abstract

The sensitivity analysis of genetic coefficients used in the productivity simulation of sugarcane by Canegro/DSSAT model (CD) was performed in order to identify which parameters have most relevance in the model calibration. The CD uses 20 parameters that aim to capture the differences between the varieties of sugarcane. The sensitivity analysis has been developed varying one parameter at a time within a certain range and keeping the others constant. Were simulated the stalk dry weight, leaf area index of green leaves and sucrose dry weight at the end of each crop cycle in a period of twenty years, between 1995 and 2014, considering three planting dates, August 01, September 01 and 01 October. The simulations were made to the city of Pelotas - RS and the results were evaluated by the standard deviation (D). The results show that genetic coefficients with great sensitivity in the simulation of the stalk dry weight were PARCEmax ($D \approx 6 \text{ t.ha}^{-1}$) and STKPFmax ($D \approx 5 \text{ t.ha}^{-1}$). In the sucrose dry weight simulation, the genetic coefficients with higher sensitivity were PARCEmax ($D \approx 3,5 \text{ t.ha}^{-1}$) and STKPFmax ($D \approx 3 \text{ t.ha}^{-1}$). In the simulation of the maximum leaf area index, the more sensitive genetic coefficients were LFMAX ($D \approx 2 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$), TT_POPGROWTH ($D \approx 1,4 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$) and Mxlfarea ($D \approx 1 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$). The results also show that differences in the planting date have influence in the sensitivity of genetic coefficients.

Keywords: Sensitivity analysis; genetic coefficients; canegro; sugarcane

Resumo

A análise de sensibilidade dos coeficientes genéticos utilizados na simulação de produtividade da cana de açúcar pelo modelo Canegro/DSSAT (CD) foi realizada com o objetivo de identificar quais parâmetros tem maior relevância na calibração do modelo. O CD faz uso de 20 parâmetros que têm como objetivo capturar as diferenças entre as cultivares de cana-de-açúcar. A análise de sensibilidade foi desenvolvida variando um parâmetro por vez dentro de um determinado intervalo e mantendo os demais constantes. Foram simulados o peso seco do colmo, índice de área foliar de folhas verdes e peso seco de sacarose ao final de cada ciclo de cultivo em um período de vinte anos, entre 1995 e 2014, considerando três datas de plantio, 01 de agosto, 01 de setembro e 01 de outubro. As simulações foram feitas para o município de Pelotas - RS e os resultados foram avaliados pelo desvio padrão (D). Os resultados mostram que os coeficientes genéticos de maior sensibilidade na simulação do peso seco do colmo foram PARCEmax ($D \approx 6 \text{ t.ha}^{-1}$) e STKPFmax ($D \approx 5 \text{ t.ha}^{-1}$). Para a simulação de peso seco de sacarose os coeficientes genéticos de maior sensibilidade também foram PARCEmax ($D \approx 3,5 \text{ t.ha}^{-1}$) e STKPFmax ($D \approx 3 \text{ t.ha}^{-1}$). Para a simulação do índice de área foliar máximo os coeficientes genéticos mais sensíveis foram LFMAX ($D \approx 2 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$), TT_POPGROWTH ($D \approx 1,4 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$) e Mxlfarea ($D \approx 1 \text{ cm}^2.\text{cm}^{-2}$). Os resultados também mostram que as diferenças na data de plantio têm influência na sensibilidade dos coeficientes genéticos.

Palavras-chave: análise de sensibilidade; coeficiente genético; canegro; cana de açúcar

1 Introdução

Uma das principais fontes de incertezas nos modelos que simulam o crescimento e a produtividade de culturas agrícolas deve-se aos erros de parametrização (Monod *et al.*, 2006). A calibração correta dos coeficientes genéticos de modelos de culturas agrícolas tem papel fundamental para que as simulações sejam coerentes com os dados observados em campo. Mas, muitas vezes não é possível calibrar parte dos coeficientes genéticos para a realidade de um determinado local com base em dados experimentais, de modo que o ajuste tem de ser feito manualmente, por tentativa e erro, ou através de algum algoritmo de otimização, até que se tenha o melhor resultado para os dados de saída do modelo.

Fatores como manejo nutricional e hídrico, além de condições ambientais incidentes, podem afetar de maneira significativa a produção alcançada pelas culturas. Assim, a identificação dos coeficientes genéticos que causam maior influência nos resultados simulados pelos modelos permite a redução do número de parâmetros a serem otimizados, já que alguns podem apresentar sensibilidade baixa ou nula. A análise de sensibilidade tem como objetivo identificar e quantificar a resposta de um modelo com relação aos elementos que estão sujeitos à incerteza ou à variabilidade (Monod *et al.*, 2006).

Assim, esse trabalho tem por objetivo desenvolver o teste de sensibilidade dos coeficientes genéticos utilizados no modelo de simulação da cultura da cana-de-açúcar CANEGRO/DSSAT (CD) (Inman-Bamber, 1991; Singels & Bezuidenhout, 2002) e identificar quais parâmetros tem maior influência nos valores de produtividade simulados. Adicionalmente, é avaliada a influência da época de plantio na sensibilidade dos coeficientes genéticos.

2 Metodologia

O CD faz uso de 20 parâmetros que têm como objetivo capturar as diferenças entre as cultivares de cana-de-açúcar (Tabela 1). O teste de sensibilidade foi desenvolvido variando um parâmetro por vez dentro de um determinado intervalo (Tabela 2) e mantendo os demais constantes, utilizando como base a parametrização de Barros *et al.* (2016) desenvolvida

para a cultivar brasileira de cana de açúcar RB92579. Os limites de variação dos coeficientes genéticos foram determinados pelos autores do modelo, porém, para cultivares brasileiras, foram encontrados valores abaixo e acima desses limites (Marin *et al.*, 2011; Nassif *et al.*, 2012; Silva, 2012; Barros *et al.*, 2016). Assim, partiu-se dos limites indicados no modelo e alterando quando necessário para valores máximos e mínimos encontrados para cultivares além de limites determinados pelos desenvolvedores do modelo (Tabela 2). Cada parâmetro teve o intervalo dividido em dez subintervalos iguais, os quais foram utilizados em conjunto com os coeficientes de Barros *et al.* (2016) para as simulações.

Foram simulados pelo CD o peso seco do colmo e de sacarose na colheita e índice de área foliar máximo, para um período de 20 anos, de 1995 a 2014, no município de Pelotas -RS para três datas de colheita em cada ano: 01 de Agosto, 01 de Setembro e 01 de Outubro. As simulações foram realizadas para o ciclo de cana-soca com colheita 365 dias após o corte.

O modelo CD foi executado utilizando dados meteorológicos de duas estações. Os dados da estação meteorológica automática localizada na sede da Embrapa Clima Temperado são disponibilizados a partir de 2008, portanto, os dados entre 2008 e 2014 desta estação foram utilizados nas simulações. Para os anos de 1995 a 2007 foram utilizados dados da estação meteorológica convencional localizada na Embrapa Clima Temperado - Estação Experimental Terras Baixas, no município de Capão do Leão - RS, distante 14 Km da sede da Embrapa Clima Temperado.

Os efeitos das variações dos parâmetros nos valores simulados em relação a simulação base foram avaliados pelo desvio padrão (D) (Rivera *et al.*, 2008):

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_m(i) - y_s(i))^2}{N}} \quad (1)$$

no qual $y_m(i)$ é o valor simulado pelo modelo sem variação no parâmetro com a parametrização de Barros *et al.* (2016) (simulação base), $y_s(i)$ é o valor simulado pelo modelo com variação no parâmetro e N igual a 10 simulações para cada parâmetro. Quanto maior for D , maior é a sensibilidade do parâmetro.

Parâmetro	Descrição	Unidade
PARCEmax	Máxima eficiência na conversão de radiação expressa em assimilados produzidos antes da respiração por unidade PAR.	g.MJ ⁻¹
APFMX	Fração máxima de incremento diário de massa seca que é particionado para a parte aérea.	t t ⁻¹
STKPFMAX	Fração máxima de incremento diário de massa seca aérea que é particionada para o colmo.	t t ⁻¹ base de massa seca
SUCA	Sacarose máxima contida na base do colmo.	t t ⁻¹
TBFT	Temperatura em que o particionamento de incremento de massa do colmo sem estresse para sacarose é 50% do valor máximo.	°C
Tthalf	Graus dias para a cobertura do dossel atingir 50% do espaçamento entre linhas.	°C.dia
TBase	Temperatura base para o desenvolvimento do dossel.	°C
LFMAX	Número máximo de folhas verdes por colmo.	n° de folhas
MXLFAREA	Área foliar máxima atribuída a todas as folhas sobre o número de folhas MXLFARNO.	cm ²
MXLFARNO	Número de folhas limitado pelo MXLFAREA.	n° de folhas
PI1	Intervalo de filocrono 1 (abaixo do Pswitch).	°C.dia
PI2	Intervalo de filocrono 2 (acima do Pswitch).	°C.dia
PSWITCH	Número da folha em que ocorre mudança no filocrono.	n° de folhas
TTPLNTEM	Graus dias para a emergência da cana-planta.	°C.dia
TTRATNEM	Graus dias para a emergência da cana soca.	°C.dia
CHUPIBASE	Graus dias para o início do crescimento do colmo.	°C.dia
TT_POPGROWTH	Graus dias para ocorrer o pico de perfilhamento.	°C.dia
MAX_POP	Máxima população de perfilhos.	Colmos m ²
POPTT16	População de colmos após 1600°Cd.	Colmos m ²
LG_AMBASE	Massa fresca da parte aérea em que ocorre o início do acamamento.	t.ha ⁻¹

Tabela 1 Parâmetros de cultivar do modelo Canegro/DSSAT.

Parâmetro	Intervalo de Variação	Fonte
PARCEmax	9,00 – 15,0	Marin et al. (2011)
APFMX	0,84 - 0,92	Marin et al. (2011)
STKPFMAX	0,60 - 0,90	Marin et al. (2011)
SUCA	0,48 - 0,75	Marin et al. (2011)
TBFT	22,0 - 28,0	DSSAT V4.6
Tthalf	180 - 300	Marin et al. (2011)
TBase	14,0 - 18,0	DSSAT V4.6
LFMAX	8,00 - 12,0	Barros et al. (2016); DSSAT V4.6
MXLFAREA	330 - 800	Silva (2012); DSSAT V4.6
MXLFARNO	14,0 - 22,0	Silva (2012); Barros et al. (2016)
PI1	64,0 - 115,	DSSAT V4.6
PI2	107 - 220	DSSAT V4.6
PSWITCH	13,0 - 22,0	DSSAT V4.5; Silva (2012)
TTPLNTEM	300 - 615	Nassif et al. (2012); Barros et al. (2016)
TTRATNEM	428 - 588	Marin et al. (2011)
CHUPIBASE	400 - 1050	Marin et al. (2011)
TT_POPGROWTH	400 – 800	DSSAT V4.6
MAX_POP	20,0 – 80,0	DSSAT V4.6
POPTT16	7,00 – 15,0	DSSAT V4.6
LG_AMBASE	180 – 300	DSSAT V4.6

Tabela 2 Limites de variação dos coeficientes genéticos utilizados no teste de sensibilidade.

3 Resultados e Discussão

As Figuras 1-3 mostram os valores de *D* para as três datas de colheita, para as variáveis peso seco do colmo, peso seco de sacarose e índice de área foliar máximo, respectivamente. Os parâmetros que tiveram desvio padrão igual a zero não são mostrados nas figuras.

Observa-se que para o peso seco do colmo (Figura 1) foram identificados como principais parâmetros o PARCEmax (máxima eficiência na conversão da radiação expressa em assimilados

produzidos antes da respiração por unidade PAR) com *D* variando entre 5,9 e 6,5 t.ha⁻¹ e o STKPFmax (fração máxima de incremento diário de massa seca da parte aérea que é particionada para o colmo) com *D* variando entre 5 e 5,6 t.ha⁻¹, para as diferentes datas de plantio. O desvio padrão das simulações com variação no PARCEmax e STKPFmax representam cerca de 20% do peso seco do colmo simulado sem variação dos parâmetros, que foi de 29 t.ha⁻¹.

Assim como na simulação do peso seco do colmo, para o peso seco da sacarose (Figura 2) foram identificados como principais parâmetros o PARCEmax com *D* variando entre 3,3 e 3,7 t.ha⁻¹ e o STKPFmax com *D* variando entre 2,9 e 3,2 t.ha⁻¹ para as diferentes datas de plantio. O desvio padrão médio das simulações do peso seco de sacarose com variação no PARCEmax e no STKPFmax representa 23% das 14.2 t.ha⁻¹ obtidos nas simulações sem variação dos parâmetros.

Nas simulações com variação do PARCEmax e do STKPFmax os resultados foram distintos entre

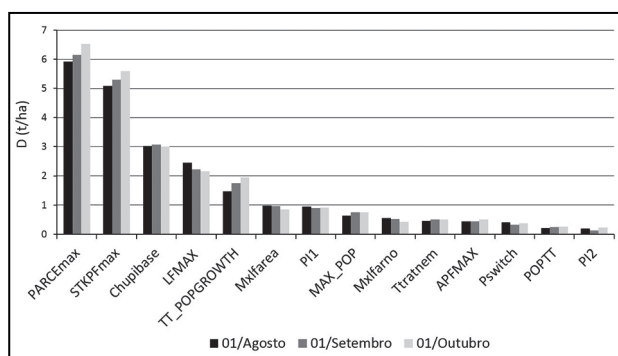


Figura 1 Desvio padrão (*D*, t ha⁻¹) do teste de sensibilidade dos coeficientes genéticos de cultivar do modelo CD para a simulação do peso seco do colmo com plantio em 01 de agosto, 01 de setembro e 01 de outubro.

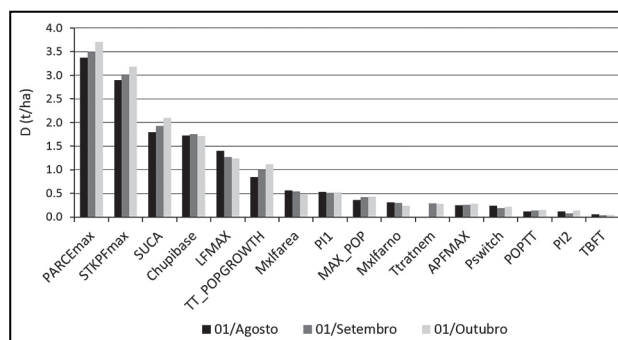


Figura 2 Desvio padrão (*D*, t ha⁻¹) do teste de sensibilidade dos coeficientes genéticos de cultivar do modelo CD para a simulação do peso seco de sacarose na colheita com plantio em 01 de agosto, 01 de setembro e 01 de outubro.

as diferentes datas de plantio. A sensibilidade desses dois parâmetros é maior nas simulações com colheita em Outubro e menor com colheita em Agosto nas estimativas do peso seco do colmo e de sacarose.

Outros parâmetros que se mostraram sensíveis com *D* acima de 1 t ha⁻¹ nas simulações do peso seco do colmo e da sacarose foram: CHUPIBASE (graus dias para o início do crescimento do colmo), LFMAX (número máximo de folhas verdes saudáveis) e TT_POPGROWTH (graus dias da emergência até o pico da população de perfilhos). Os parâmetros SUCA (sacarose máxima contida na base do colmo) e TBFT (temperatura em que o particionamento de massa do colmo para a sacarose é 50% do valor máximo) apresentaram *D* nulo na simulação do peso seco do colmo. Para o peso seco de sacarose SUCA apresentou alta sensibilidade enquanto que a TBFT apresentou pouca sensibilidade (Figura 2).

Para a simulação do índice de área foliar máximo (Figura 3) os parâmetros que resultaram em maior variação foram o LFMAX com *D* variando entre 1,8 e 2,1 cm.cm⁻², TT_POPGROWTH com *D* variando entre 1,3 e 1,5 cm.cm⁻² e Mxlfarea com *D* variando entre 0,7 e 1 cm.cm⁻². O parâmetro PARCEmax, que apresentou maior sensibilidade nas estimativas de peso seco do colmo e de sacarose, na simulação do índice de área foliar máximo mostrou-se pouco influente com *D* abaixo de 0,5 cm.cm⁻². A média do índice de área foliar simulado sem variação dos parâmetros foi de 5 cm.cm⁻².

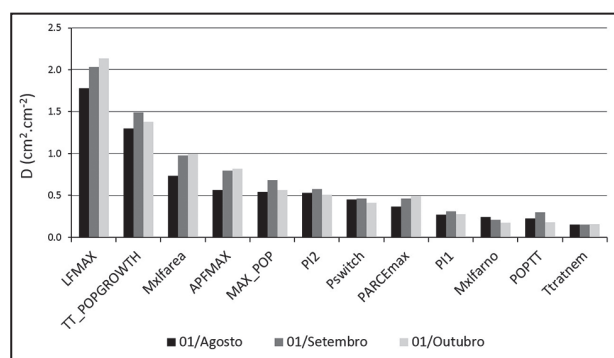


Figura 3 Desvio padrão do teste de sensibilidade dos coeficientes genéticos de cultivar do modelo CD para a simulação de índice de área foliar máximo com plantio em 01 de agosto, 01 de setembro e 01 de outubro.

O CD simula o dossel multiplicando a área foliar por perfilho pelo número de perfilhos por unidade de área para obter o índice de área foliar, o qual é utilizado pelo modelo, em conjunto com

o tempo termal relacionado ao desenvolvimento de folhas e perfilhos individuais, na simulação da radiação interceptada pela folha (Singels *et al.*, 2008). Assim, o parâmetro STKPFmax, que determina o particionamento máximo de matéria seca para o colmo e teve alta sensibilidade nas simulações do peso seco do colmo e de sacarose, não é utilizado pelo CD na simulação do índice de área foliar e, portanto, apresenta sensibilidade nula não sendo mostrado na Figura 3.

Os parâmetros LG_AMBASE (peso fresco da parte aérea em que ocorre o início do acamamento), Tbase (temperatura base para o desenvolvimento do dossel), Tthalf (graus dias para a cobertura do dossel alcançar 50% do espaçamento entre linhas) e Ttplntem (graus dias para o início da emergência da cana-planta) apresentaram *D* nulo nas simulações das três variáveis consideradas, sendo, portanto, os de menores sensibilidades. Além dos já citados anteriormente, também tiveram *D* nulo para o peso seco do colmo o parâmetro TBFT. O parâmetro Ttratnem (graus dias para o início da emergência da cana-soca) apresentou *D* nulo nas simulações de peso seco de sacarose com colheita em 01 de Agosto, porém para as datas de colheita 01 de Setembro e 01 de Outubro *D* foi estimado em aproximadamente 0,28 t ha⁻¹.

Deve-se ressaltar que a simulação se deu para cana-soca, assim, o parâmetro Ttplntem pode apresentar sensibilidade diferente para simulações de cana-planta. Os demais parâmetros apresentaram *D* próximos à zero, sendo então considerados de influência secundária.

4 Conclusões

Os resultados destacam a importância da calibração dos parâmetros PARCEmax e STKPFmax na simulação da produtividade e do conteúdo de sacarose na cana de açúcar. Pequenas mudanças na eficiência da cana de açúcar em converter PAR em biomassa, ou na fração de matéria seca particionada para o colmo, podem resultar em produtividade muito acima ou abaixo do que é encontrado em campo com *D* de 20 %. O mesmo ocorre com o conteúdo de sacarose com *D* de 23 %.

Os parâmetros SUCA e TBFT apresentaram desvio padrão iguais à zero na simulação do peso

seco do colmo. Estes dois parâmetros são utilizados pelo CD no particionamento da matéria seca do colmo em crescimento estrutural da cana de açúcar e acúmulo de sacarose não influenciando, portanto, na produtividade. No entanto, ao simular o peso seco de sacarose o parâmetro SUCA adquire maior importância no processo de calibração.

Para a simulação do índice de área foliar máximo os coeficientes genéticos mais importantes determinam o tempo termal necessário para o alcance da população máxima de perfilhos (TT_POPGROWTH), o número máximo de folhas verdes (LFMAX) e a área foliar máxima (Mxlfarea). Conclui-se também que a data de plantio apresentou pequena influência na sensibilidade dos coeficientes genéticos com uma diferença entre os desvios padrões mínimo e máximo abaixo de 1 t.ha⁻¹ nas simulações do peso seco do colmo e de sacarose.

Os resultados apresentados podem auxiliar no processo de calibração do modelo, mostrando quais parâmetros devem ser ajustados com maior atenção. O processo de calibração exige a mensuração ou estimativa por medidas biométricas e fenológicas do crescimento de desenvolvimento da cultura através da realização de experimentos ou coletas de campo. Algumas medidas exigem ainda coletas de campo e posterior processamento em laboratório, demandando tempo e equipamentos. Portanto, a identificação dos parâmetros com sensibilidade nula tende a otimizar o processo de calibração reduzindo a quantidade de medidas realizadas em campo ou em laboratório, assim como parâmetros de maior sensibilidade requerem maior atenção na aquisição e tratamento dos dados.

5 Referências

- Barros, A.C.; Souza, J.L.; Coelho, R.D.; Barros, A.H.C.; Almeida, A.C. & Silva Jr, J.M. 2016. Parametrização do Modelo DSSAT/CANEGRO para Variedades de Cana de Açúcar em Alagoas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10(3): 631 - 639.
- Inman-Bamber, N.G. 1991. A Growth Model for Sugarcane Based on a Simple Carbon Balance and the CERES Maize Water Balance. *South African Journal of Plant and Soil*, 8 (2): 93-99.
- Marin, F.R.; Jones, J.W.; Royce, F.; Suguitani, C.; Donzeli, J.L.; Pallone Filho, W.J. & Nassif, D.S.P. 2011. Parameterization and Evaluation of Predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian Sugarcane. *Agronomy Journal*, 103(2): 304-315.
- Monod, H.; Naud, C. & Makowski, D. 2006. Uncertainty and

Análise de Sensibilidade dos Coeficientes Genéticos do Modelo Canegro/DSSAT
João Marcelo H. de Souza; Santiago Viana Cuadra; Luciana Barros Pinto;
João Rodrigo de Castro; Renã Araujo; Ivan Rodrigues de Almeida & Sergio Delmar dos Anjos e Silva

- Sensitivity Analysis for Crop Models. In: BRUN, F.; WALLACH, D.; MAKOWSKI, D. & JONES, J. (1). *Working with dynamic crop models*. San Diego: Elsevier, p. 55-100.
- Nassif, D.S.P.; Marin, F.R.; Pallone Filho, W.J.; Resende, R.S. & Pellegrino, G.Q. 2012. Parametrização e Avaliação do Modelo DSSAT/Canegro para Variedades Brasileiras de Cana-De-Açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(3): 311-318.
- Rivera, R.N.C.; Miranda, J.H.; Duarte, S.N. & Botrel, T.A. 2008. Modelo Aplicado à Dinâmica da Água e do Potássio no Solo sob Irrigação por Gotejamento: Análise de Sensibilidade. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 28(3): 448-459.
- Silva, R.F. da. 2012. *Calibração do Modelo Dssat/Canegro para a Cana-de-Açúcar e seu uso para a Avaliação do Impacto das Mudanças Climáticas*. Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, Dissertação de Mestrado, 67p.
- Singels, A. & Bezuidenhout, C.N. 2002. A New Method of Simulating Dry Matter Partitioning in the Canegro Sugarcane Model. *Field Crops Research*, 78: 151-164.
- Singels, A.; Jones, M.R. & Van den Berg, M. 2008. *DSSAT v.4.5 Canegro Sugarcane Plant Module: Scientific Documentation*. SASRI, Mount Edgecombe, South Africa, 34p.