



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO na simulação da transpiração e evapotranspiração para a cultura da cana-de-açúcar<sup>1</sup>**



*Daniel S. P. Nassif<sup>2</sup>; Fábio R. Marin<sup>3</sup>; Leandro G. Costa<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Doutor, ESALQ-USP, (19) 3447-8519, [dspnassif@gmail.com](mailto:dspnassif@gmail.com)

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Associado, ESALQ-USP, [fabio.marin@usp.br](mailto:fabio.marin@usp.br)

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando, ESALQ-USP, [legarcosta@gmail.com](mailto:legarcosta@gmail.com)

**RESUMO:** O uso de modelos de crescimento na cultura da cana-de-açúcar vem ganhando importância por serem ferramentas de auxílio à pesquisa e planejamento estratégico da cultura. O modelo DSSAT/CANEGRO vem sendo aplicado em diversas regiões do mundo para análise e avanço no conhecimento dos sistemas de produção de cana-de-açúcar, inclusive no Brasil, em que diversos trabalhos foram realizados voltados à produtividade dos canaviais e aos impactos das mudanças climáticas na cultura. O presente trabalho buscou avaliar o desempenho do modelo DSSAT/CANEGRO na estimativa do consumo hídrico da cultura da cana-de-açúcar. Foram realizadas medidas de evapotranspiração do dossel pelo método do balanço de energia-razão de Bowen e de transpiração das plantas por meio do balanço de calor nos colmos. Foi conduzida uma área experimental com a variedade RB867515, plenamente irrigada por aspersão por meio de um pivô central, na safra 2012/2013. A calibração do modelo foi realizada para um conjunto de dados observados desta variedade para diferentes áreas experimentais e climas. Os dados observados de transpiração e evapotranspiração foram avaliados por meio de regressão linear contra os dados simulados pelo modelo utilizado, para as variáveis de transpiração e evapotranspiração. As simulações da ET<sub>c</sub> do canavial se apresentaram satisfatórias ( $R^2=0,59$ ) quando utiliza-se a metodologia do boletim da FAO 56 no modelo, apresentando diferenças inferiores a 1% com relação aos dados observados. Para a transpiração ( $R^2=0,79$ ) o modelo subestimou em 6,5% o consumo de água pelas plantas, principalmente quando observou-se picos de alto e baixo consumo hídrico. O modelo DSSAT/CANEGRO foi eficiente na simulação dos processos de evapotranspiração e transpiração do canavial irrigado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Kc simulado, modelagem, consumo hídrico

### **Evaluation of DSSAT/CANEGRO model in simulation of transpiration and evapotranspiration for sugarcane crop**

**ABSTRACT:** The use of growth models in sugarcane crop is gaining importance because they are research and strategic crop planning tools. The DSSAT/CANEGRO model has been applied in all world to advance the knowledge of sugarcane production systems including Brazil, where many studies were carried out aimed fields productivity and climate change impacts. This study evaluated DSSAT/CANEGRO model performance in estimating sugarcane water use. Evapotranspiration was measured by Bowen ratio energy balance and plant transpiration by stem heat balance method. An experimental area with RB867515 variety was conducted fully irrigated by a central pivot in the 2012/2013 harvest. Model calibration was performed for a set of observed data for different experimental and climate areas. Observed and simulated data were assessed using linear regression for transpiration and evapotranspiration variables. Simulations of crop evapotranspiration were satisfactory ( $R^2=0.59$ ) when using FAO 56 bulletin method in the model, with differences below 1% against observed data. For crop transpiration, ( $R^2=0.79$ ) the model underestimated the sugarcane water consumption in 6.5%, these differences are mainly observed in peaks of high and low water use. The DSSAT/CANEGRO model was efficient in simulation of evapotranspiration and transpiration processes on irrigated sugarcane crop.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



**KEYWORDS:** simulated Kc, modelling, crop water use

## INTRODUÇÃO

Modelos de simulação de crescimento de culturas baseados em processos são ferramentas de elevado potencial para o estudo e entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos da interação solo-planta-atmosfera. Servem também para verificar o desempenho da cultura em diferentes situações (SOLER, 2004). Muitos modelos de culturas são desenvolvidos para ajudar os pesquisadores a compreender o funcionamento de vários processos dentro do sistema de cultivo agrônomo. Por exemplo, fluxo de água no solo, fotossíntese e crescimento de plantas e balanço de nutrientes são processos normalmente modelados (JAMES e CUTFORTH, 1996).

No Brasil, o uso de modelos de simulação de crescimento ainda não é rotina, porém alguns autores vêm utilizando desta técnica para o melhor entendimento e pesquisa da cultura (MARIN et al, 2011; NASSIF et al., 2012; COSTA et al, 2014; VIANNA e SENTELHAS, 2014; MARIN e JONES, 2014). Dentre alguns modelos brasileiros, pode-se citar o SIMCANA proposto por Pereira e Machado (1986), que é um modelo matemático-fisiológico do crescimento da cultura, tendo como variáveis de entrada a radiação solar global, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar. Machado (1981) também apresentou um modelo matemático-fisiológico para simulação do acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar a partir de informações meteorológicas. Recentemente, Marin e Jones (2014) propuseram um novo modelo para a cultura da cana, que descreve o crescimento e desenvolvimento por meio de algoritmos baseados em processos de fenologia, desenvolvimento do dossel, perfilhamento, acúmulo e particionamento de biomassa, crescimento de raízes e estresse hídrico.

Os principais modelos de simulação de cana-de-açúcar em uso em todo o mundo são o modelo australiano, APSIM-Sugar (KEATING et al, 1999) e o modelo sul-africano DSSAT/CANEGRO (INMAN-BAMBER, 1991). Estes dois modelos, embora desenvolvidos independentemente, têm origens e abordagens semelhantes para simular a fenologia, expansão do dossel, interceptação da radiação, divisão da biomassa acima do solo e relações planta-nitrogênio (LISSON et al, 2005). Recentemente Marin et al. (2013a) avaliaram esses dois modelos quanto aos princípios de funcionamento e concluíram que ambos os modelos são capazes de simular com eficiência a fenologia da cultura, o índice de área foliar e a produtividade da cultura. Ambos, contudo, tendem a subestimar a absorção de radiação pelo dossel da cultura.

O modelo DSSAT/CANEGRO pode também ser empregado como referência, indicando inconsistências nos modelos empíricos (O'LEARY, 2000). Este tipo de modelo, por basear-se na modelagem de processos, além de permitir a estimativa da produtividade, também permite conhecer como se deu o desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo de cultivo, pois considera desde variáveis biométricas até aspectos envolvendo o consumo de água, o balanço hídrico no solo e a ciclagem de nutrientes, notadamente o nitrogênio (JONES et al., 2007). Singels et al. (2008) apresentam as principais características do DSSAT/CANEGRO, baseando-se em descrições fisiológicas do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar incluindo a fenologia, desenvolvimento do dossel, perfilhamento, acúmulo e particionamento de biomassa, crescimento de raízes, estresse hídrico e acamamento da cultura. Com isso torna-se importante o conhecimento sobre a eficiência da simulação da evapotranspiração e transpiração das culturas por estes modelos, sendo o objetivo do presente trabalho.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



### MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de checar os algoritmos relacionados à transpiração e evapotranspiração, avaliou-se o desempenho do modelo DSSAT/CANEGRO em comparação aos dados de campo. Os dados de evapotranspiração do canavieiro e a transpiração da área experimental com a variedade RB867515 foi inserido no modelo de crescimento de cana-de-açúcar, DSSAT/CANEGRO. Este procedimento teve por finalidade de comparação da resposta do modelo e os valores encontrados em campo. Inicialmente foram inseridos os dados biométricos do canavieiro estudado, com a devida calibração prévia para a variedade RB867515, conforme Marin et al., 2013.

Como o modelo utiliza dois métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), FAO 56 e Priestley-Taylor, foram feitas simulações para avaliação de ambas metodologias de evapotranspiração, comparando-os com os dados observados em campo, estimados pelo MRB. Para obtenção de uma relação entre a evapotranspiração e a demanda atmosférica, utilizou-se primeiramente o dado de umidade relativa mínima do ar, e posteriormente foram inseridos dados estimados da temperatura do ponto de orvalho, para cada dia, utilizando-se a temperatura máxima e a umidade relativa mínima.

Analisou-se a sensibilidade da evapotranspiração e transpiração do modelo para as variáveis de velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa e temperaturas máximas e mínimas, atribuindo variações de +10% e -10%, resultando em ET e T relativas, que são compostas pela razão entre o valor padrão e os valores simulados com os parâmetros ambientais modificados. Com a simulação de todo o ciclo foi utilizada a evapotranspiração da cultura gerada pelo modelo com base na estimativa pela FAO 56 para avaliar o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) simulado, e posterior comparação com o K<sub>c</sub> observado em campo por meio do MRB.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo DC permite utilizar, para a estimativa da evapotranspiração, os métodos de Priestley-Taylor e do boletim da FAO 56. Foi realizada uma análise de sensibilidade do mesmo com relação às variáveis ambientais de velocidade do vento, radiação global, umidade relativa do ar, temperatura mínima e temperatura máxima. O modelo simulou incremento de 7% na evapotranspiração (ET) com a redução da umidade relativa em 10%, e nenhuma variação quando há a elevação da umidade do ar. Para as outras variáveis ambientais o modelo indicou queda de até 5% na ET para redução da radiação e temperaturas máxima e mínima. Para a velocidade do vento, o modelo apresentou sensibilidade menor do que 1% tanto no incremento quanto no decréscimo da variável ambiental. A mesma variável de umidade relativa resultou em elevada sensibilidade quando observada a transpiração (T) da cultura, com incremento de 25% na T com redução da UR e, para as demais variáveis ambientais, com exceção do vento, foi observada uma sensibilidade linear de até 15% (radiação global), aumentando com o incremento de 10% na variável ambiental e diminuindo com a redução da mesma porcentagem.

Quando a ET foi simulada pelo modelo utilizando-se o método FAO 56, a evapotranspiração aproximou-se da ET obtida com o MRB com diferença inferior a 1% (Figura 1 A). Para os casos em que não se tem todas as variáveis de entrada disponíveis para este método (temperaturas máxima e mínima, radiação global, precipitação pluvial, umidade relativa mínima e velocidade do vento) o sistema DSSAT disponibiliza uma adaptação do método de Priestley-Taylor, o qual necessita somente dos dados de temperaturas máxima e mínima e radiação global. Para este método, a simulação perde em qualidade em comparação com o FAO 56, superestimando em cerca de 14% os valores de ET<sub>c</sub> observados (Figura 1 B), sem contudo afetar de modo pronunciado as simulações de produtividade e POL.

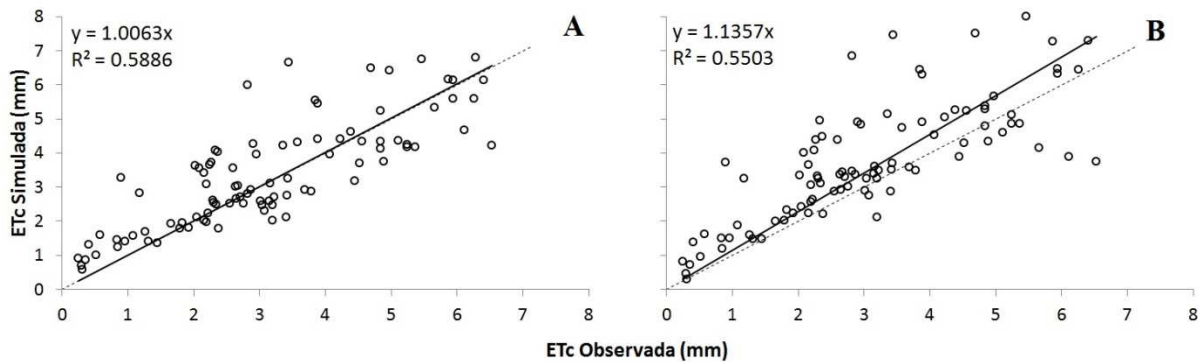


Figura 39 - Relação entre evapotranspiração da cultura observada pelo MRB na AE2 (ETc observada) e a evapotranspiração da cultura simulada pelo modelo DSSAT/CANEGRO, utilizando o método FAO 56 (A) e o método de Priestley-Taylor (B)

Para a transpiração da cultura, observou-se boa coerência entre os dados observados e simulados nos dias com medições do fluxo de seiva (Figura 2 A). Interessante mencionar que os dados observados tiveram picos de máxima e mínima sempre maiores e menores que os simulados, respectivamente (Figura 2 A). Ao se relacionar as duas variáveis, verificou-se  $R^2=0,79$ , com os dados observados maiores que os simulados em 6,5% (Figura 2 B).

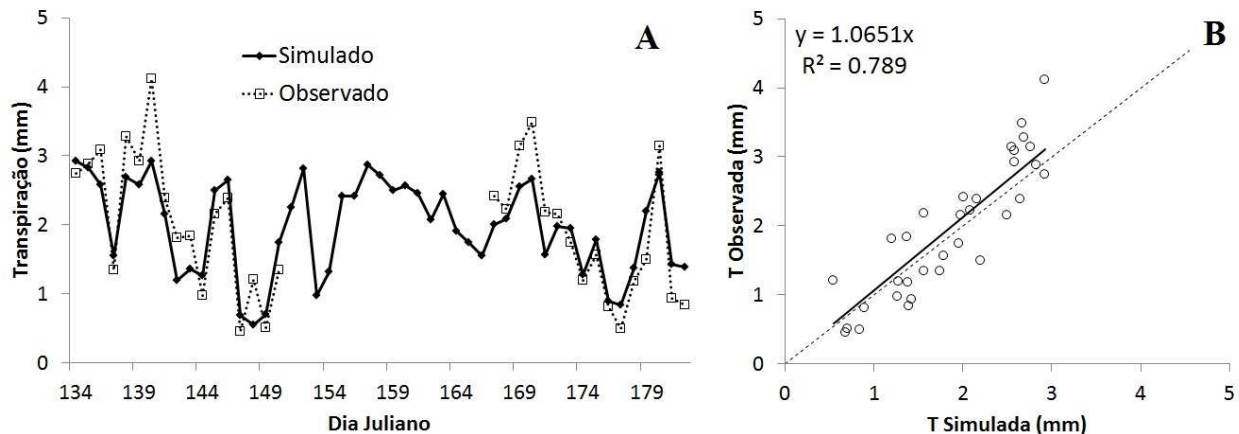


Figura 2 - Variação temporal da transpiração do canavial simulada e observada (A) e a relação entre os dados simulados e observados (B)

Comparando as duas metodologias de estimativa de evapotranspiração do modelo, verificou-se que na utilização da estimativa pelo boletim da FAO 56, a produtividade foi maior que com o método de Priestley-Taylor (PT) em cerca 10%, sendo esta diferente decorrente das variáveis meteorológicas de entrada no modelo, já que a FAO 56 utiliza a umidade relativa mínima para o cálculo do DPV. Para a concentração de sacarose, ambos os métodos de estimativa apresentaram resultados similares no final do ciclo, porém com cerca de 150 dias após plantio (DAP) o PT apresentou uma maior concentração de sacarose.

Durante o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar na AE2, a ETc média observada pelo MRB foi de  $3,12 \text{ mm dia}^{-1}$  e a ETo foi de  $2,11 \text{ mm dia}^{-1}$  resultando em um Kc de 1,47, ficando mais baixo que o Kc médio simulado pelo modelo DSSAT/CANEGRO (1,57) com ET simulada de  $3,33 \text{ mm dia}^{-1}$  (Tabela 1). Salienta-se que os valores de Kc simulados representam todo o ciclo da cultura, desde o início da

emergência até a colheita, e o Kc observado apresenta um resultado médio do período de medidas realizadas pelo MRB.

Tabela 1 - Dados médios do ciclo do canavial na AE2 para as variáveis de evapotranspiração da cultura observado (ETc), evapotranspiração simulada pelo modelo DSSAT/CANEGRO (ETDSSAT), evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultura observado (Kc) e coeficiente de cultura observado (Kc) e coeficiente de cultura simulado (KcDSSAT)

<b>ETc</b>	<b>ET<sub>DSSAT</sub></b>	<b>ETo</b>	<b>Kc</b>	<b>Kc<sub>DSSAT</sub></b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>		
3,12	3,33	2,11	1,47	1,57

## CONCLUSÕES

O modelo DSSAT/CANEGRO mostrou-se capaz de simular o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, incluindo os processos de evapotranspiração, transpiração e evaporação. O desempenho foi melhor quando se utilizou informações de umidade relativa do ar mínima ou a temperatura do ponto de orvalho, juntamente com a evapotranspiração de referência de acordo com o boletim da FAO 56.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo número 2011/18072-2 e ao CNPq processos números 302872/2012-4 e 480702/2012-8.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, L.G.; MARIN, F.R.; NASSIF, D.S.P.; PINTO, H.M.; LOPES-ASSAD, M.L. Simulação do efeito combinado de palhada e adubação na modelagem da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 469-474, 2014.

INMAN-BAMBER, N.G.A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **South African Journal of Plant Soil**, Mount Edgecombe, v. 8 n. 2, p. 93-99, Feb. 1991.

JAME, Y.W.; CURTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.

JONES, M.; PORTER, C.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; SINGELS, A.; SHINE, J.; NAYAMUTH, R.; KINGSTON, G.; CHINORUMBA, S.; VAN DEN BERG, M. Incorporating the DSSAT/CANEGRO sugarcane model into the DSSAT V4 crop modelling system. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Tech**, Mount Edgecombe, v.26, p. 438-443, 2007.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.

LISSE, S.N.; INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; KEATING, B.A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2/3, p. 321-335, 2005.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J.L.; PALLONE FILHO, W.J.; NASSIF, D.S.P. Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for sugarcane Brazilian production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 100-110, 2011.

MARIN, F.R.; THORNBURN, P.J.; NASSIF, D.S.P.; COSTA, L.G.; REZENDE, R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Evaluation of APSIM-SUGAR and DSSAT-CANEGRO for a widely grown Brazilian sugarcane cultivar. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2013a.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E.D.; PELLEGRINO, G.Q.; JUSTINO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, London, v. 117, p. 227-239, 2013b.

MARIN, F.R.; JONES, J.W. Process-based simple model for simulating sugarcane growth and production. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, p. 1-17, 2014.

NASSIF, D.S.P.; MARIN, F.R.; PALLONE FILHO, W.J.; RESENDE, R.S.; PELLEGRINO, G.Q. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 311-318, 2012.

O'LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 97-111, 2000.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Um simulador dinâmico do crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 107-122, 1986.

SOLER, C.M.T **Uso do modelo CERES-MAIZE para previsão de safra do milho "safrinha"**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. 146p.

VIANNA, M.S.; SENTELHAS, P.C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 237-246, 2014.