



CONSTRUÇÃO DE MODELO ECOFISIOLÓGICO DE SIMULAÇÃO PARA ESTIMAR A PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE CANA DE AÇUCAR NO BRASIL E AUSTRÁLIA

F.C. da Silva¹, V. Barbieri², A. de Castro¹, A. de S. Nakamoto¹

- (1) Embrapa Informática Agropecuária, Avenida Andre Tosello, 209, 13083-886, Campinas, SP; fabio.silva@embrapa.br, alexandre.castro@embrapa.br e andredesouza13@gmail.com.
(2) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, LEB/ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba SP; vbarbier@usp.br.

Resumo: Neste artigo apresenta-se a construção de um modelo ecofisiológico-matemático (BrCane) para prever a produtividade potencial - sem restrições nutricionais ou de água, a fim de analisar a sustentabilidade da expansão do cultivo de cana-de-açúcar em novas áreas para produção de etanol. A arquitetura do modelo BRCANE foi concebida para uma planta tipo C4, onde a evolução mensal da biomassa foi estimada em função da temperatura do ar e da radiação incidente. Nas simulações apresentadas a produção de biomassa levou em conta a taxa bruta de fotossíntese subtraída às perdas para respiração de manutenção, senescência de folhas e morte de perfilhos durante o ciclo da cultura. O modelo BRCANE também foi usado para descrever o comportamento fisiológico em função das condições ambientais relacionadas ao tempo termal. A implementação de tais condições permitiu ajustar os resultados das simulações a resultados experimentais disponíveis na literatura. As estimativas de biomassa foram comparadas com dados obtidos durante o ciclo da cultura em experimentos de campo com irrigação (Cultivares RB72 454, NA 56-79, CB 41-76, CB47-355, CP51-22, Q138 e Q141) no Estado de São Paulo (Brasil) e em Bundaberg e Queensland (Austrália) e os resultados foram expressos em toneladas de colmo por hectare (Mg.ha⁻¹), por meio de uma relação linear para cada variedade ($R^2 = 0,89^{**}$) e superiores aos obtidos pelos modelos APSIM ($R^2=0,78^*$) e CANEGRO ($R^2=0,71^*$). O modelo apresentou resultados consistentes com dados experimentais para crescimento de biomassa no ciclo da cultura da cana-de-açúcar, oriundo de canaviais paulistas e de Bundaberg (Austrália).

Palavras-chave: modelo ecofisiológico, produtividade potencial, curva de crescimento.

DEVELOPMENT OF ECOPHYSIOLOGICAL SIMULATION MODEL TO ESTIMATE A POTENTIAL PRODUCTIVITY OF SUGAR CANE IN BRAZIL AND AUSTRALIA

Abstract: A model of sugarcane was constructed to predict the potential yield (without nutrition and water restrictions) for sustainability analysis of new expanded cultivation areas to ethanol production. The potential yield in terms of dry matter of sugarcane was adjusted to estimate the carbon dioxide absorption (CO_2), as C4 plant, in relation with air temperature and solar radiation to calculate a monthly production of dry mass (DM), during the crop cycle. The DM takes into account a gross photosynthetic rate minus losses by maintenance respiration, senescence of leaves and tillers during the cycle. The BRCANE model is composed by equations which describe the physiological behavior due to environment conditions averaging the thermal variables, which constants was obtained through adjusts of literature results with experimental data. The estimated DM by the model was contrasted with data which obtained during the cycle from experimental irrigated field (varieties RB72 454, NA 56-79, CB 41-76, CB 47-355, CP 51-22, Q138 and Q141), in the São Paulo State (Brazil) and in Bundaberg SES, Queensland (Australia). The results of total DM were modified in stalk tons per hectare (Mg.ha⁻¹) through linear equation for each variety, with regression coefficients higher than 0,89**(R^2) and higher than those obtained by APSIM ($R^2 = 0.78^*$) and CANEGRO ($R^2 = 0.71^*$) models. The model showed consistent simulations with DM during the CROP cycle, as well as in the prediction of yield.

Keywords: ecophysiological model, climatic variables, leaf area index, biomass production, growth curve of cane sugar.

1. Introdução

A importância econômica da cana-de-açúcar para o país é incontestável, seja na produção de biocombustível renovável ou na geração de divisas pela exportação de açúcar. Na safra brasileira 2013/2014, a área plantada perfaz 8,8 milhões de hectares, sendo processados 653 milhões de toneladas de colmo de cana-de-açúcar, com produção de 37,71 milhões de toneladas de açúcar e 27,51 bilhões de litros de álcool hidratado e anidro (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇUCAR, 2014). A literatura tem evidenciado modelos matemático-fisiológicos

que são consideravelmente eficazes para estimar o potencial de produção/produktividade, principalmente, no que tange à cultura da cana-de-açúcar (BARBIERI *et al.*, 2010; O'LEARY, 2000), os quais baseiam-se em dois grupos: uso eficiente da radiação e de fotossíntese/respiração. Tais modelos têm possibilitado a prospecção da expansão da produção de etanol, e da sacarose, tomando como base as variáveis pedoclimáticas inerentes às unidades de produção e em áreas de expansão agrícola.

No primeiro grupo, existem os modelos Auscane, APSIM-Sugarcane e Canegro simulam a fixação de carbono (C) a partir da atmosfera por meio utilizando os conceitos da teoria do Uso Eficiente da Radiação (UER) desconsiderando os efeitos da eficiência da transpiração (TE) em um intervalo de tempo diário (TANNER; SINCLAIR, 1983; O'LEARY, 2000). Podem ocorrer diferentes valores de UER, mas o mesmo coeficiente de extinção e coeficientes de transpiração é utilizado na cana-soca (LIU, BULL, 2001). Já existem os modelos que utilizam o conceito de fotossíntese-respiração seriam o BrCane (BARBIERI *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012) e o QCane (LIU, BULL, 2001). Há uma forte evidência de que os modelos de simulação de culturas tenham uma participação importante na pesquisa científica, na tomada de decisão e na análise dos fatores que possam aperfeiçoar a produtividade de culturas e transferência de tecnologia para os sistemas de produção. Entretanto, a utilização destes modelos na prática, nos vários níveis de suporte à decisão e no planejamento da lavoura da cana-de-açúcar, requer um conjunto grande de informações de clima e de solo que estejam disponíveis para implementação. Portanto, torna-se fundamental a simplificação de entradas (inputs) dos modelos de sistema de cultivo para a sua aplicação regional.

2. Materiais e Métodos

O modelo BRCANE baseia-se no conceito fotossíntese-respiração para estimar a produtividade mensal potencial de biomassa baseada na conversão de CO_2 em carboidrato e em função de dados diários de temperatura média, radiação solar e insolação. O modelo considera a arquitetura descrita originalmente por Barbieri (1993) e incorpora diversos elementos como o IAF (Índice de Área Foliar), morte de folhas e perfilhos, bem como novos ajustes do efeito da temperatura na produção de biomassa. (BARBIERI *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012). No modelo utiliza medições regulares de condições meteorológicas (temperatura e radiação solar) como variáveis para o cálculo do crescimento da cultura, em particular a acumulação de matéria seca. O desenvolvimento é determinado a partir da integral térmica, não utilizando tempo cronológico, e do fotoperíodo, com essas funções e critérios do modelo determina-se o estágio de desenvolvimento da cana, o crescimento vegetativo (folhas), renovação de folhas, morte dos caules devido à competição, e ao acúmulo de matéria seca de acordo com o balanço entre fotossíntese e respiração da planta, e o total de raízes e tocos deixados no campo após a colheita. A disponibilidade de água, nesse modelo, é considerada ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura, ou seja, o modelo simula o potencial de crescimento. Levando-se em conta a dinâmica do agrossistema acima do nível do solo, o modelo BRCANE permite estimar a produção máxima de carboidrato total (CBmax) para um dia limpo (CBc) e em um dia completamente nublado (CBn) em função da temperatura. No trabalho aqui apresentado, o valor de CBmax foi corrigido para refletir as diferentes cultivares utilizadas na construção do modelo. Em consequência, após as realizações das correções na capacidade de conversão de planta em carboidrato – em função do IAF e da idade foliar – foi obtido o valor de carboidrato bruto corrigido (CBC), sendo assim, a eficiência de conversão de carboidrato em matéria seca resultou na quantidade bruta da fotossíntese (MS_0). Na validação do BrCane de matéria seca foi feita com dados experimentais obtidos em campos irrigados de cana-de-açúcar em São Paulo (Brasil) e Bundaberg (Austrália) para as variedades RB72 454, NA 56-79, 41-76 CB, CB 47-355, CP 51-22, Q138 e Q141. Os resultados de produção de matéria seca total foram corrigidos para conter a aplicação de uma equação linear por variedade em condições australianas, se correlacionado com produtividades estimadas pelos modelos APSIM e CANEGRO/DSSAT e BRCANE.

3. Resultados e Discussão

Os valores correspondentes de matéria seca total estimados pelo modelo variaram de 79 a 142 ton/ha. Irvine (1983) e Barbieri (1993) citam uma série de valores de matéria seca encontrados por distintos autores em várias condições edafoclimáticas, com valores máximos de experimentação entre 75 a 140 ton/ha.ano. No atual estudo, considerou-se ciclos que variam de 11 a 20 meses de cultivo, correspondente aos ciclos cana de ano e cana de ano e meio, cujos valores obtidos variaram de 79 a 140 t/ha. Os meses de verão são potencialmente mais produtivos. Todavia, nesses meses o valor de F é maior, indicando que a razão de insolação (n/N) foi menor, ou seja, são meses mais nublados, e quase invariavelmente são mais chuvosos. Durante o inverno CBmax se aproxima de CBc e, durante o verão, de CBn. Salienta-se então que a irrigação em igual quantidade e distribuição de água pode promover produções maiores, por não diminuir a luminosidade, como ocorre nos dias chuvosos (Figura 1). Assim sendo, a quantidade de energia interceptada pelas folhas será muito baixa conforme indica o fator de correção [C(IAF)], o que leva a baixos valores de CBC (Figura 2). É sabido que do mês de outubro em diante o valor de IAF cresce numa taxa acentuada e, apesar do fator idade (C(i)) diminuir a taxa de fotossíntese, os valores de CBc e CBn permaneceram altos (Figura 1). Somando-se todos estes efeitos, os valores encontrados de CBC se mantiveram altos até o mês de março do ano seguinte. Deste mês em diante, até o fim do ciclo, a diminuição da energia disponível, da temperatura e o aumento da idade acarretaram uma queda no valor de CBC. Esse conjunto de resultados obteve seu valor máximo no mês de outubro, sendo que do plantio até este mês, a matéria seca acumulada não atingiu valores muito altos. A fração consumida (R_m) pela respiração foi estimada em 15% da matéria seca produzida neste mês. Durante o pico da respiração, a produção de matéria seca bruta foi de 7.414 kg/ha, e a

matéria seca acumulada foram de 14.183 kg/ha (Figura 2). Os valores estimados pelo modelo para a matéria seca bruta (Figura 2a) e líquida (Figura 2b) assemelham-se aos medidos por Glover (1972), Machado (1981). Observa-se que a capacidade do modelo para os valores estimativos de biomassa líquida apresentaram menor aderência aos resultados de Machado (1981), em comparação aos valores estimados de matéria seca bruta nas condições climáticas consideradas.

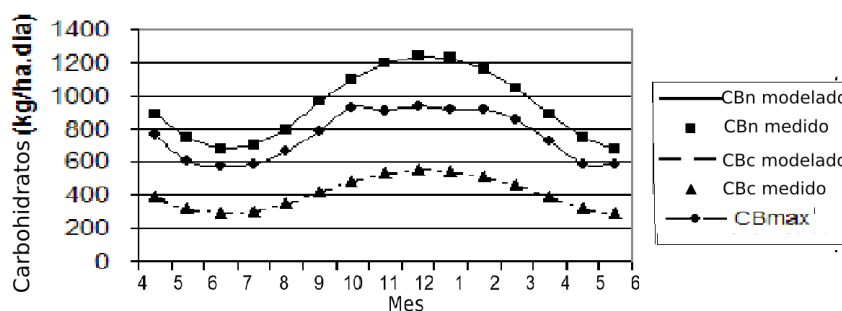


Figura 1. Valores simulados de CBc e CBN em condições climáticas do período em estudo na safra 1980/81 (kg CH₂O/ha.mês), em comparação com dados originais de Machado (1981).

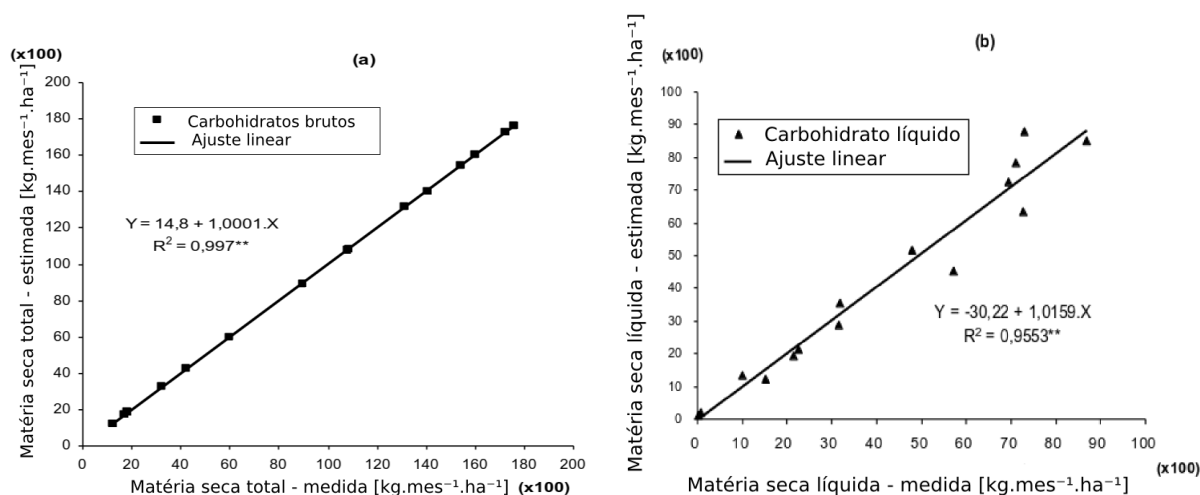


Figura 2. Valores da matéria seca bruta (a) e de matéria seca líquida (b), expressos em kg MS./ha.mês, estimada pelo modelo, comparado aos resultados de Machado (1981).

Deve-se levar em conta que o fator de correção da r max, relativo a idade Cr(i), foi modelado utilizando-se dados que abrangiam um curto período de tempo, ou seja, aproximadamente 300 dias. Na fase final de validação, procedeu-se a comparação do modelo BRCANE com demais modelos em uso no mundo, a partir de um conjunto de dados de Bundeberg – Austrália, no período de 1991-95 publicados por LIU & BULL, 2001 (Tabela 1).

Tabela 1. Valores estimados de produtividades mínima, média e máxima pelos diferentes modelos, em TCH, e nível de assertividade, em condições da Austrália.

	Estimativas de produtividade pelos modelos e o valor real (TCH)			
	Média	Mínimo	Maximo	R ²
Dados Originais	51.0	46.1	55.5	-----
QCANE	51.1	45.4	56.0	0,97**
BRCANE	51.0	45.9	55.4	0,89**
APSIM	51.2	48.4	54.0	0,78*
CANEGRO	50.4	46.7	58.7	0,71*

4. Conclusões

O modelo BRCANE apresentou-se eficaz na estimativa da produtividade de cana-de-açúcar irrigada, para cultivos de 12 e 18 meses, sendo capaz de realizar predições da produtividade final ao longo da safra. Foi capaz de estimar a taxa de fotossíntese pela subtração das perdas por senescência das folhas e respiração de manutenção ao longo do ciclo. A matéria seca e as produtividades estimadas pelo modelo foram comparadas com sucesso com

dados de experimentos de cultivo irrigado das variedades estudadas em Piracicaba/Araras (Brasil) e de Bundaberg (Austrália), sendo no ultimo superior ao desempenho dos modelos APSIM e CANEGRO.

Referências

- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 142 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- BARBIERI, V.; SILVA, F. C.; DIAS-AMBRONA, C. G. H.; Modelagem de cana de açúcar para previsão de produtividade de canaviais no Brasil e na Austrália. In: CONGRESO DE AGROINFORMÁTICA, 2., 2010, Buenos Aires. Anales... Buenos Aires: Sociedad Argentina de Informática, 2010. p. 745-762.
- GLOVER, J. Practical and theoretical assessments of sugarcane yield potential in Natal. Proceedings... [S. l.]: South African Sugar Technologists' Association, 1972. v. 46, p. 138-141.
- IRVINE, J. Sugarcane. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELDCROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS. Los Baños, Philippines: IRRI, 1983. p. 361-381.
- LIU, D. L.; BULL, T. A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using process-based model. Ecological Modelling, Amsterdam, v. 144, n. 2, p. 181 – 211, 2001.
- MACHADO, E. C. Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). 1981. 115 f. Tese (Mestrado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- O'LEARY, G. J. A Review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. Field Crops Research, v. 68, p. 97-111, 2000.
- SILVA, F.C. da; BARBIERI, V.; DÍAZ-AMBRONA, C. G. H.; CASTRO, A.de; BOCCA, F. F.;PODSCLAN, S. B. Modelagem computacional do crescimento de cana-de-açúcar para predição de produtividade potencial / Fabio Cesar da Silva [et al.].- Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2012. 40 p. il.: cm. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9266; 31).
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇUCAR (São Paulo). Dados e cotação estatísticas. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 01 set. 2014.
- TANNER, C. B.; SINCLAIR, T. R. Efficient water use in crop production: research or re-search? In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R.; SINCLAIR, T. R. (Ed.). Limitations to efficient water use in crop production. Madison: Agronomy Society of America, 1983. p. 1-27.