



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

Modelando o teor de água no colmo de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas



Rodolfo Pilar¹; Murilo dos Santos Vianna²; Lucas Putti¹; Pedro Rocha Pereira¹; Fábio Ricardo Marin³

¹Graduando em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Fone: (19) 993467154 rodolfo.pilar@usp.br

²Eng. Ambiental, Doutorando, Depto. Eng. de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP

³Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP

RESUMO: No sistema canavieiro, a estimativa correta do teor de sacarose é importante para a previsão e monitoramento de safras e avaliação do desempenho econômico de um cultivo. Nos países onde a cana-de-açúcar é produzida, a maturação da cana é mensurada em uma relação com o teor de sacarose acumulada, que por sua vez, depende da água contida no colmo e da fase fenológica da planta. Este trabalho buscou analisar a relação entre o teor de água no colmo, o carbono estrutural e o teor de sacarose no colmo. Foram analisados dados observados de cana-soca, em área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, localizada em Piracicaba, SP. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, e a variedade utilizada foi a RB867515, cultivada entre as safras 2013/2014 e 2014/2015, sob pivô central. No decorrer do ciclo da cultura, foram realizadas avaliações mensais de massa seca e umidade do colmo, além de avaliações tecnológicas do teor de sacarose no colmo (POL%). Para a avaliação de massa fresca e massa seca da cultura, foram cortadas 10 plantas seguidas ao acaso, com seis repetições, em que foram separadas as folhas, ponteiro (palmito), palha e colmo, e pesadas em seguida, para evitar a perda de água. Em seguida, o material foi colocado para secagem em estufa a 65°C até atingir peso constante garantido a total perda de água, e pesadas em seguida. Por meio de análises estatísticas, foi possível identificar uma relação entre as variáveis estudadas. Desse modo, foi encontrada uma correlação das variáveis analisadas, com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,46 e índice de exatidão (d) igual a 0,79.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem, Cana-de-açúcar, Massa fresca.

Modeling the water content in sugarcane stalk as a function of biometric variables.

ABSTRACT: Correct estimation of sucrose content in sugarcane crop is important for yield forecast and monitoring and evaluation of the economic performance. In countries where sugarcane is grown, the ripening is measured by a relationship with the level of accumulated sucrose, which depends on the stem water content and the phenological stage. This paper aimed to analyze the relationship among stem water content, structural carbon and sucrose content. Ratoon crop observed data were analyzed from RB867515 variety experimental area at the ESALQ-USP with TypicHapludults, grown among seasons 2013/2014 and 2014/2015, under pivot irrigation. During the growing season, there were dry mass and moisture stem of monthly reviews and stalk sucrose content (POL%). For the evaluation of fresh and dry mass, were collected 10 plants followed at random samples, with six replications, the samples were separated into stem, cabbage, straw and leaf, and weighed to avoid losing water. Thereafter, the material was placed in an oven for drying at 65 ° C until constant weight guaranteed to complete loss of water and then weighed. Through statistical analysis, it was possible to identify a correlation among studied variables. Thus, a correlation of the variables was found, with a coefficient of determination (r^2) equal to 0.46 and accuracy index (d) equal to 0.79.

KEY WORDS: Modeling, Sugarcane, Fresh mass.

Cultivada em diversos países, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tornou-se a mais eficiente matéria prima para produção de etanol, um combustível renovável e menos poluente quando comparado aos combustíveis fósseis. Líder do ranking mundial de produção, o Brasil produziu na safra 2013/2014 cerca de 600 milhões toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2015). Comercialmente, a produtividade da cana-de-açúcar é avaliada pela concentração de sacarose, de sólidos solúveis, teor de fibras e, principalmente, pela massa fresca de colmos produzida em cada unidade de área (TCH).

Uma das formas cientificamente aceitas para a sistematização do conhecimento sobre processos envolvendo sistemas agrícolas é por meio de modelos de crescimento de plantas (SINCLAIR, 1996). Os modelos de crescimento de plantas (MCP) baseados em processos biofísicos (do inglês, *process based crop models PBCP*) são geralmente concebidos a partir de evidências experimentais coletadas pela ciência fisiológica, pedológica e agrometeorológica. Sendo sua utilização, uma ferramenta de suporte à tomada de decisão sobre diferentes cenários de manejo, tipo de solo e clima manejo (HOOGENBOOM, 2000).

Para cana-de-açúcar, há vários modelos baseados em processos disponíveis, mas apenas o DSSAT/CANEGRO (INMAN-BAMBER, 1991; SINGELS et al., 2008) e APSIM-Sugar (KEATING et al., 1999) estão efetivamente disponíveis para usuários finais. No Brasil, ambos os modelos já foram calibrados para as condições brasileiras e utilizados para diversos estudos (NASSIF et al., 2009; MARIN et al., 2013; COSTA et al., 2014; VIANNA e SENTELHAS, 2015). Os MCP's, contudo, ainda carecem de melhorias e, dentre elas, um aspecto que merece atenção especial para os modelos de cana-de-açúcar, está relacionado aos algoritmos que descrevem o acúmulo de massa fresca de colmo (TCH).

Sendo o TCH uma variável de grande utilidade prática no setor canavieiro, merece destaque o fato de que os modelos destinados a simular o crescimento da cultura, e supostamente servir como ferramentas de suporte à gestão do agronegócio canavieiro, contam com algoritmos relativamente pouco estudados para computar o teor de água no colmo. A literatura científica tem apontado que a variação do teor de água no colmo da cana-de-açúcar se dá em função de variações ambientais como clima, temperatura, stress hídrico, insolação e geadas, (Yates, 1996).

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é calibrar uma equação pré-estabelecida por Martine e Lebret (2001) permitindo assim aprimorar a simulação do teor de água no colmo em modelos de cana-de-açúcar e aproximá-los de aplicações práticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi conduzido em um canavial irrigado por pivô-central de terceiro ciclo (cana-soca) com a cultivar RB867515, que atualmente ocupa cerca de 27% da área cultivada no país (Censo Varietal Ridesa, 2012). O plantio foi realizado em outubro de 2012, em linha simples com espaçamento de 1,40m entre linhas, distribuindo-se de 13 a 15 gemas por metro linear a 0,25m de profundidade.

A área experimental pertence ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e está localizada na Fazenda Areão, município de Piracicaba, SP (Lat.: 22°42'30''S, Lon.: 47°30'00'' e Alt.: 540m). O clima da região é caracterizado como Cwa, segundo Köppen e o solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo distrófico (Embrapa, 2006). A área experimental foi dividida em dois tratamentos, com cobertura de palha (T1) e sem cobertura de palha (T2), representando assim dois sistemas de manejo (Figura 1), sendo que o mesmo tipo de avaliação será realizada simultaneamente para os dois tratamentos.

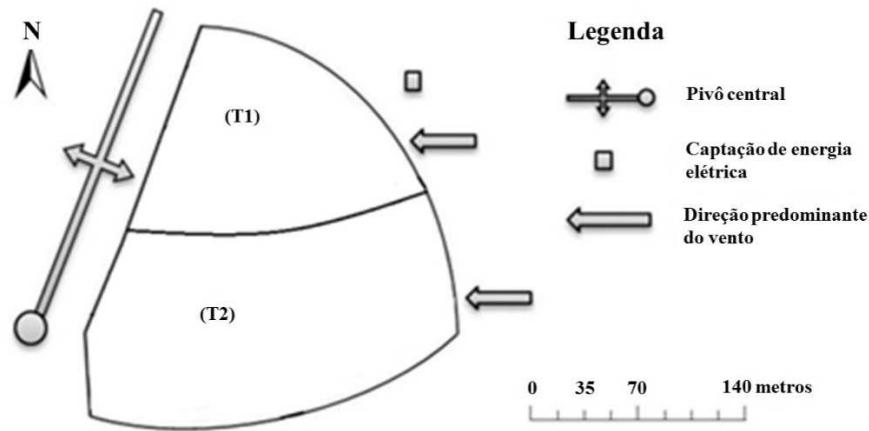


Figura 1. Área experimental, localizada na fazenda Areão, município de Piracicaba – SP.

Foram realizadas no decorrer do ciclo da cultura, avaliações mensais de massa seca e umidade do colmo e avaliações tecnológicas de POL do caldo. Para a avaliação de massa fresca e massa seca da cultura, foram cortadas 10 plantas seguidas ao acaso, com 6 repetições, em que foram separadas as folhas, ponteiro (palmito), palha e colmo, e pesadas em seguida, para evitar a perda de água. Posteriormente o material foi colocado para secagem em estufa a 65°C até atingir peso constante garantido a total perda de água, e pesadas em seguida (Kiehl, 1985). Após a pesagem foi estimado a produtividade em massa seca e fresca do canavial, conforme equações 1 e 2, respectivamente.

$$MF = \left(\frac{Mfa}{10} * perf * 10000 \right) \quad (1)$$

$$MS = \left(\frac{Psa}{10} * perf * 10000 \right) \quad (2)$$

em que MF é massa fresca ($kg \cdot ha^{-1}$) e MS é massa seca ($kg \cdot ha^{-1}$), Mfa é a massa da amostra fresca (kg) e Psa é a massa da amostra seca (kg), $perf$ é o número de perfilhos por metro quadrado do canavial.

As avaliações tecnológicas da porcentagem em massa de sacarose contida no caldo (POL) foram realizadas conforme determinado por Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo – Conselho dos Produtores de Cana-De-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - CONSECAN-SP (2006).

Os dados coletados durante o primeiro e segundo ciclo foram utilizados para calibração da equação proposta por Martine e Leuret (2001) a fim relacionar a umidade do colmo com as variáveis massa seca e massa de açúcar, por meio de regressão linear múltipla. A aferição do desempenho da equação calibrada foi testada com dados coletados no terceiro ciclo, utilizando-se como parâmetros estatísticos o coeficiente de determinação (r^2), e o índice de concordância (d) de Willmot, o erro médio (Δ) e a raiz do erro médio quadrático (REM). Os instrumentos necessários para o início do experimento foram disponibilizados e fornecidos pelo Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O canavial estudado apresentou produtividade final de 126,5 t.ha⁻¹ com estimativa de 30,1 t.ha⁻¹ de massa seca, o que representou um teor de água no colmo de 80,4% no tratamento sem palha e 78,7% no tratamento com palha. Durante o final do ciclo, devido ao período de maturação da cultura, houve um incremento do POL, atingindo 16,9% na colheita do canavial. Na estimativa da massa de água contida na cana-de-açúcar, assumiu-se que a quantidade de água armazenada depende da quantidade de material estrutural da planta como um efeito positivo, e do teor de sacarose acumulada como um efeito negativo. No experimento conduzido, sem estresse hídrico, foi encontrada uma relação das variáveis analisadas por regressão múltipla entre massa seca e teor de sacarose, resultando na equação 3, com r² de 0,79 com significância maior que 95%.

$$A = 35,043 + 0,186 * Pol + 2,712 * MS \quad (3)$$

em que, A é a massa água armazenada (t.ha⁻¹), MS é a massa seca (t.ha⁻¹) e Pol é o teor de sacarose (%).

Ao aplicar a equação calibrada aos dados de A (t.ha⁻¹) do terceiro ciclo da cultura, as estimativas mostram-se superiores às feitas com método original de Martine e Lebret (2001). A equação (3) apresentou r² de 0,76 e coeficiente angular de 0,79, que representam um bom ajuste aos dados (Figura 2a). A equação de Martine e Lebret (2001), embora tenha obtido r² de 0,75, apresentou coeficiente angular de 1,84, indicando tendência positiva acentuada (Figura 2b).

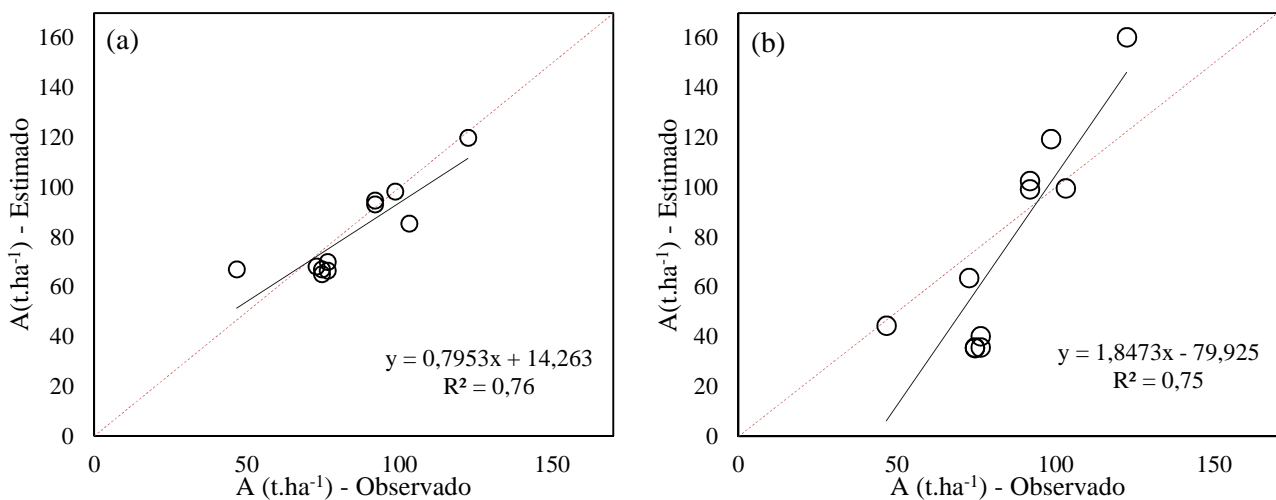


Figura 2: Comparação entre os dados observados de umidade A (t.ha⁻¹) e os dados estimados pela equação ajustada (a) e a equação sem ajuste (b)

Ambos as equações apresentaram resultados em média pouco abaixo dos observados, com erro médio (Δ) de -3,02 t.ha⁻¹ e -8,38 t.ha⁻¹ respectivamente para a equação ajustada e original (Tabela 1). A equação (3) ajustada mostrou-se com desempenho superior em todos os índices estatísticos, sendo o ajuste responsável por um ganho de 17,43 t.ha⁻¹ de precisão, quando avaliado pelo REMQ (Tabela 1).

A tabela 1 apresenta os valores observados e calculados por meio da equação 3 para umidade (%) do colmo de cana-de-açúcar.

Equação	Δ	REMQ	r^2	d
Martiné e Lebret (2001) - Ajustado	-3,02	9,74	0,76	0,92
Martiné e Lebret (2001)	-8,38	27,17	0,75	0,78

CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que existe relação entre a massa seca e teor de sacarose com a massa de água acumulada. O ajuste da equação (3) com dados observados de massa de água acumulada foi fundamental para melhorar a precisão do método, atingido um nível de incerteza de 9,74 t.ha⁻¹, cerca de três vezes inferior ao método original, de 27,17 t.ha⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pela bolsa de iniciação concedida e à FAPESP pela bolsa de doutorado (Processo n° 2014/05887-6) concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENSO VARIETAL 2012 – RIDESA. Disponível em: <<http://ridesa.agro.ufg.br/pages/44741>> Acessado em: 20/05/2015.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2014/2015, primeiro levantamento.** Brasília, 2014. 19p.
- CONSECANA Manual de Instruções. 5 ed. Piracicaba, 2006, 111 p.
- COSTA, L.G., MARIN, F.R., NASSIF, D.S., PINTO, H.M., LOPES-ASSAD, M., 2014. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18, 469–474.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 1-2, p. 137–157, 2000.
- 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 Soil*, v.8, p.93-99, 1991.
- KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. (1999) “Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of sugarcane module.” *Field crops research* 61: p.235-271.
- KIEHL, E.J. (1985) “Fertilizantes orgânicos.” São Paulo: Ceres, 429p
- MARIN, F.R.; THORBURN, P.J.; NASSIF, D.S. ; COSTA, L.G.; REZENDE, A.S.; ANDRADE JUNIOR, A.S. Evaluation of APSIM-SUGAR and DSSAT-CANEGRO for widely grown brazilian sugarcane cultivar. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OS SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013. São Paulo. **Proceedings...** São Paulo, 2013.



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



MARTINÉ, J.F., P. LEBRET (2001). “**Modelling the water content of the sugarcane stalk**”. Proceedings of the South African Sugar Technologists Association, Durban.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; SAKAI, R. H.; VITTI A. C.; ROSSETO, R. Parametrização do modelo DSSAT/CANEGRO para as cultivares brasileiras de cana-de-açúcar. **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Belo Horizonte, MG. 2009.

SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N. G. Crop Modeling: From Infancy to Maturity. **Agronomy Journal**, 88: p. 698-704, 1996.

SINGELS, A.; JONES, M.; VAN DER BERG, M. (2008) “DSSAT v.4.5 DSSAT/CANEGRO: sugarcane plant module: scientific documentation.” Mount Edgecombe: International Consortium for Sugarcane Modeling: South African Sugarcane Research Institute, 34p.

VIANNA, M. dos S.; SENTELHAS, P. C. Performance of DSSAT CSM-CANEGRO Under Operational Conditions and its Use in Determining the `Saving Irrigation Impact on Sugarcane Crop. **Sugar Tech**, v. 1, p. 1, 2015.

YATES, R.A. (1996) “Factors that affect the quality of sugarcane. Part I - Environmental factors.” *Sugar Cane* 2: p.4-11.