

MODELOS APLICADOS A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR: CANEGRO E OUTROS

Fábio Cesar da Silva¹, Alessandra Fabíola Bergamasco², Marcos Silveira Bernardes³

O manejo ambiental na cultura da cana-de-açúcar vem exigindo a previsão do comportamento em produção e risco ambiental em vários níveis de controle na lavoura canavieira e, para obtenção de altos rendimentos agrícolas, os fatores de produção, temperatura do ar, radiação solar e água no solo devem estar a níveis adequados durante as diferentes fases fenológicas do desenvolvimento.

A informatização de processos de suporte à decisões, em especial pelo emprego de modelos matemáticos, podem minimizar riscos ambientais, reduzindo os custos de produção e proporcionar maior sustentabilidade do planejamento agrícola, têm contribuído para um melhor conhecimento dos mecanismos fisiológicos para avaliações qualitativas e quantitativas dos sistemas de plantio.

Alguns dos objetivos para construção de modelos matemáticos para a cana-de-açúcar podem ser descritos como: estimativa de crescimento e rendimento agrícola potencial; descrição do comportamento de elementos ao longo do caminho solo-raiz-parte aérea; visualização das melhores opções de taxas, áreas e uso de suplementos, sem causarem impactos ao ambiente; permitem simulação de situações; os modelos já existentes podem ainda, serem associados com outros modelos, chegando mais perto da realidade da produção.

O crescimento e desenvolvimento das plantas dependem fundamentalmente dos processos de fotossíntese e respiração. A maioria dos recursos e esforços, no entanto, tem sido despendidos no estudo da fotossíntese, sendo a respiração considerada apenas um processo de perda de carbono (Pereira, 1987). Coube a McCree (1970) e Thornley (1970), mostrarem que esses dois processos são interligados e interdependentes, e que a respiração faz parte efetiva do processo de utilização e distribuição dos carboidratos fotossintetizados.

¹ Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, 13083-970 - Campinas, SP.
fcesar@cnptia.embrapa.br

² Zootecnista. Bolsista Fapesp/Embrapa Informática Agropecuária. afb@cnptia.embrapa.br

³ Prof. do Departamento de Produção Vegetal/ESALQ - Piracicaba, SP. msbernar@carpa.ciagri.usp.br

Os modelos de crescimento das plantas se esforçam para simular a produção fotossintética e a partição dos fotossintetizados para o crescimento, o armazenamento e a respiração (Barbieri, 1993). A pesquisa da fotossíntese é refletida em sofisticados modelos, os quais existem para prever a fotossíntese pelos dados da elevação solar, geometria das folhas, penetração da luz, taxa individual da fotossíntese, etc.

A metodologia proposta por Bassanezi & Ferreira (1988) para o processo de modelagem matemática, inicialmente aborda o estudo de problemas e situações reais buscando um tema de grande relevância, então é usado como linguagem para compreensão, simplificação e resolução desse sistema complexo, a modelagem matemática, através da devida escolha das variáveis e suas relações, e formulação de hipóteses. A montagem do modelo matemático “substituindo” a linguagem natural por uma linguagem específica é a fase da Resolução, e seu estudo depende da complexidade do modelo. Para aceitação ou não do modelo inicial existe a fase da Validação, que consiste na comparação da solução obtida e os dados reais. Após a aceitação, o Modelo será aplicado na situação real para fazer previsões, tomar decisões, explicar e entender o fenômeno numa linguagem universal, enfim, participar do processo com capacidade de influenciar em suas mudanças. Alguns exemplos de modelos desenvolvidos para explicar processos da cana-de-açúcar são:

1. Modelo Matemático-Fisiológico de estimativa de produtividade, descrito por Barbieri, 1993

É composto de uma série de equações que descrevem o comportamento fisiológico da planta em resposta as condições ambientais, sendo que as constantes das equações foram obtidas adaptando-se os resultados de pesquisas disponíveis na literatura. A equação de acúmulo potencial da matéria seca, foi:

$$MST = MS_0 \cdot Cr^n + \frac{MS \cdot (Cr^n - 1)}{(Cr^n - 1)}, \text{ onde:}$$

— MST = matéria seca acumulada no fim do mês em questão (kg/ha); MS₀ = matéria seca existente no início do mês (kg/ha); MS = matéria seca média mensal produzida por dia (kg/ha); N = número de dias no mês e Cr = Coeficiente de respiração de manutenção (termo subtrativo).

2. Modelo Matemático de Balanço de Carbono, descrito por Pereira, 1987

Pereira integrou três processos que normalmente são estudados em separado: crescimento, fotossíntese e respiração, em uma única equação, em torno da qual foi idealizado o modelo matemático do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, cuja equação é:

$$\Delta W/\Delta t = Y * (Fb - \Delta S_m/\Delta t), \text{ onde:}$$

ΔW = fitomassa, e $\Delta W/\Delta t$ = taxa de crescimento da planta; Y = eficiência de conversão; Fb = fotossíntese bruta e $\Delta S_m/\Delta t$ = taxa de respiração de manutenção.

3. Modelo de acúmulo de matéria seca, descrito por Inman-Bamber and Thompson, 1989

Foram utilizados dois modelos para entender os efeitos da idade e do clima na produção de matéria seca da cana-de-açúcar, utilizando-se água e fertilizantes em quantidades adequadas, sendo o primeiro, descrito por Lorber et al (1984), chamado de “The Lorber model”:

$$dW/dt = (Pg - (Rm \cdot W)) \cdot (1 - Rgr) , \text{ onde:}$$

W = total de massa seca da cultura incluindo a raiz (t/ha); dt = intervalo de tempo; Pg = fotossíntese bruta (t CH₂O/ha); Rgr = respiração de crescimento e Rm = respiração de manutenção (g/g).

O segundo modelo, chamado “Glover model”, é a combinação do modelo de respiração de Glover (1972), com o modelo de fotossíntese CERES-MAIZE (Jones and Kiniry, 1986), cujo modelo resultante é:

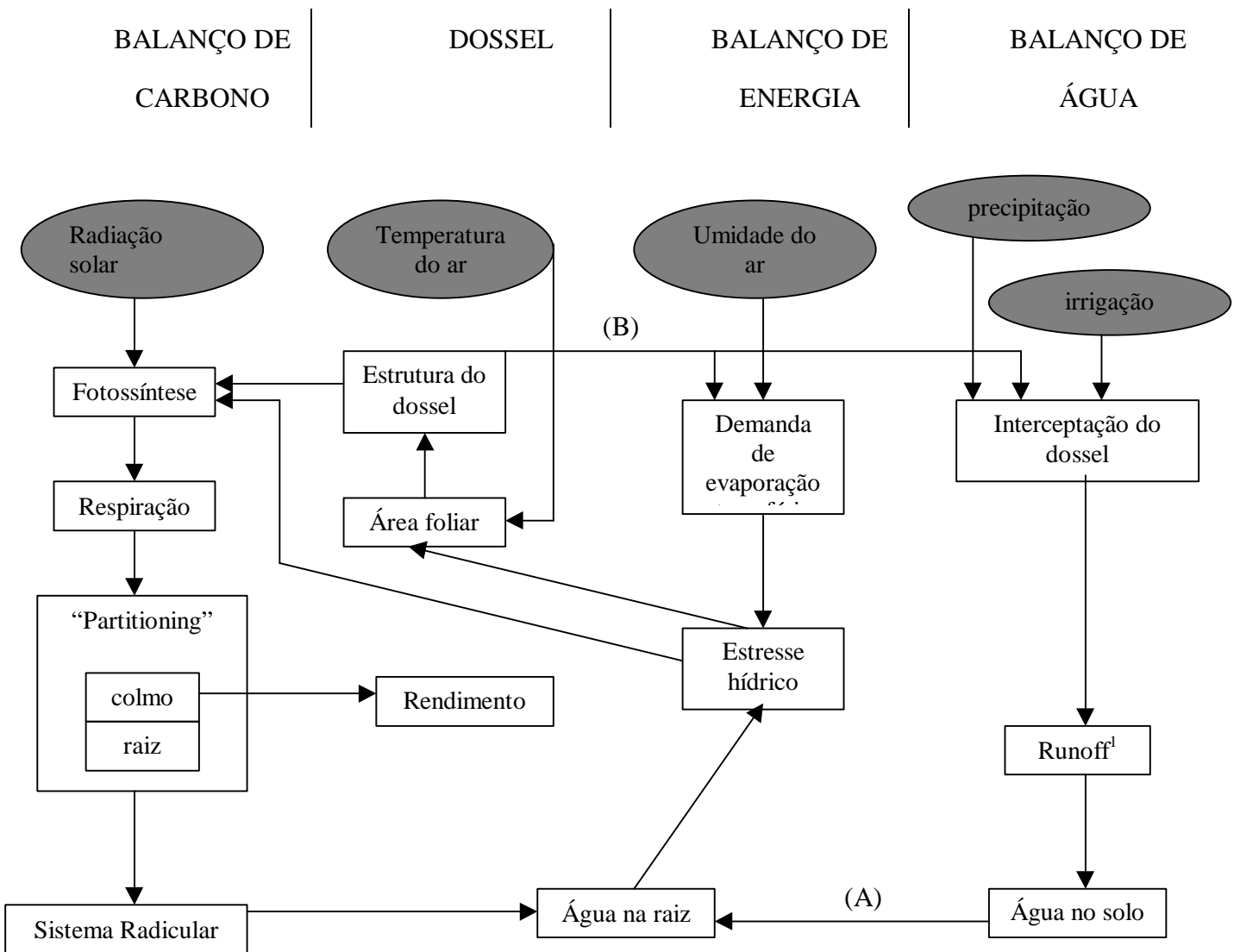
$$Q_t = 1 - 0,0025 ((0,25T_{mim} + 0,75 T_{max}) - 26)^2 , \text{ onde:}$$

Q_t = coeficiente de estresse de temperatura; T_{min} = temperatura mínima e T_{max} = temperatura máxima.

4. Modelo CANEGRO, descrito por Inman-Bamber, Culverwell, McGlinchey, 1993

O modelo CANEGRO consiste em balanços detalhados do carbono e da água em uma seleção de equações do balanço de energia para determinar a exigência de água da cultura. Esse modelo mostra que carbono, energia e água estão explicados dentro de 3 balanços ou compartimentos separados. O estresse hídrico ocorre quando a quantidade de água requerida para equilibrar o balanço de energia excedem a quantidade que as raízes podem absorver. O dossel é envolvido em todos os três balanços.

FLUXOGRAMA DO MODELO CANEGRO



¹ água excedente depois da saturação do solo

Figura 1. Fluxograma do modelo CANEGRO, Agosto de 1992.

A equação de Penman-Monteith-PM (Monteith, 1965), foi desenvolvida conjuntamente com o Dr. Nigel Pickeing da Universidade da Flórida e considerou necessário: 1) uso da opção da variável altura da cultura, oferecida pela equação; 2) estimar o vento, a pressão de vapor e os perfis de temperatura acima do dossel, porque essas medidas são feitas somente com 2m de altura em estações meteorológicas na indústria de açúcar. A equação foi derivada das medidas feitas a 2m acima do dossel.

5. Evolução para a programação modular, descrito por International Consortium for Agricultural Systems Applications - ICASA

Foi adaptado por investigadores na Universidade da Flórida e usado para desenvolver modelos no Fortran e nas outras linguagens de computador. São adicionados componentes novos aos modelos de crescimento de culturas tentando desenvolver ou identificar um modelo mais eficaz, com o objetivo de expandir potencialidades, tornando estes, cada vez mais complexos. Isto gerou uma necessidade de uma estrutura modular para os modelos das culturas tais que os componentes novos pudessem ser adicionados, modificados e mantidos com esforços mínimos.

6. Modelo de Transferência de metais pesados no sistema solo-cana-de-açúcar, descrito por Fábio César da Silva, Laércio Luis Vendite, Alessandra Fabíola Bergamasco, 2000

Foi construído um modelo matemático, com base nos modelos compartimentais, para descrever a transferência dos metais pesados durante o caminho: composto de lixo-solo-raiz-parte aérea da cana-de-açúcar, com o objetivo de encontrar soluções agronômicas para o problema do acúmulo de lixo urbano que está trazendo sérios riscos ambientais e sociais no Brasil, utilizando-o como adubo na cana-de-açúcar após sua compostagem.

O modelo compartimental proposto foi:

$$dM_1/dt = - \lambda.M_1 - \alpha.M_1$$

$$dM_2/dt = + \alpha.M_1 - \beta.M_2$$

$$dM_3/dt = + \beta.M_2$$

Onde: M_1 , M_2 e M_3 = concentrações do metal pesado no solo, raiz e parte aérea da cana, respectivamente, no instante t ; λ = velocidade do decaimento do metal pesado; α = taxa de translocação do metal do solo para a raiz e β = taxa de translocação do metal da raiz à parte aérea.

7. Modelo de Crescimento de Índice de Área Foliar (IAF) de cana-de-açúcar, descrito por Teruel, 1996

O primeiro passo para utilização deste modelo de crescimento com base no IAF foi o cálculo dos valores de graus-dia para cada período de 24 horas, através dos dados de temperaturas máximas, mínimas e temperatura base, depois ajustou-se os valores medidos à função:

$$Y = a * x^b * e^{cx} , \text{ onde: } Y = \text{IAF} ; x = \Sigma \text{GD}_{\text{cor}} \text{ e } a, b \text{ e } c = \text{parâmetros de ajuste do modelo}$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa.** Piracicaba/SP, 1993. 142p. Tese (Doutorado) – ESALQ.
- BASSANEZI, R. C. & FERREIRA, W. C. Jr. **Equações Diferenciais com aplicações.** Ed. Harbra, 1988. 572 p.
- GLOVER, J. Practical theoretical assessments of sugarcane yield potential in Natal. **Proceeding of the South African Sugar Technologists' Association.** 46:138:141. 1972.
- INMAN-BAMBER, N. G., CULVERWELL, T. L., McGLINCHEY, M. Predicting yield responses to irrigation of sugarcane using a growth model and field records. **Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.** 67:66-72. 1993.
- INMAN-BAMBER, N. G.; THOMPSON, G. D. Models of dry matter accumulation by sugarcane. **Proceeding of the South African Sugar Technologists' Association,** 212-216p. 1989.
- JONES, C.A.; KINIRY, J. R. **CERES-MAIZE model: A simulation model of maize growth and development.** Texas A&M University Press, p. 194. 1986.
- McCREE, K. J. Na equation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled conditions. In: SETLIK, I., ed. **Prediction and measurement of photosynthetic productivity.** Wageningen, Pudoc, 1970. P. 221-9.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany,** Oxford, **29:** 17-37, 1965.
- PEREIRA, A. R. Balanço de Carbono: Uso de Modelos e Simulação. Seminário de Biotecnologia Agrícola, 5., Piracicaba, 1987. **Anais.**
- THORNLEY, J. H. M. Respiration, growth and maintenance in plants. **Nature,** London, 227: 304-5, 1970.
- TERUEL, D. A. **Modelagem do Índice de Área Foliar de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos.** Piracicaba/SP, 1996. 93p. Tese (Mestrado) – ESALQ.