

Modelagem do crescimento e desenvolvimento da cultura do milho ¹

D. Wolschick², M. A. Martinez³, P. C. R. Fontes⁴, A. T. de Matos⁵.

RESUMO. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um modelo mecanístico de simulação do crescimento e desenvolvimento para a cultura do milho (*Zea mays* L.) e testá-lo comparando os resultados obtidos por simulações com aqueles obtidos experimentalmente. O modelo simula a acumulação de matéria seca em condições de suprimento adequado de água e nutrientes no solo e ausência de pragas e doenças. Ele foi testado com dados obtidos em experimento realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A cultura do milho foi semeada em lisímetros de drenagem e conduzida para atingir a produção potencial. Durante o ciclo de desenvolvimento do híbrido de milho Agromen 2012 foram realizadas determinações de área foliar, senescência foliar e matéria seca dos órgãos aéreos da planta e das raízes. Os resultados obtidos demonstraram que o modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas de milho estima adequadamente os valores de índice de área foliar e acúmulo de matéria seca nos órgãos da planta durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Palavras chave: fotossíntese, matéria seca, respiração da planta

Modeling of the maize growth and development

SUMMARY. This study aimed at the development of a mechanistic model for simulating the growth and development of the maize (*Zea mays* L.) crop, as well as to test this model, by using the results obtained experimentally. The plant growth and development model simulates the potential growth of the crop, that is the dry matter accumulation under appropriate supply of water and nutrients in the soil and absence of pests and diseases. It was tested, by using the data obtained from the experiment carried out in the experimental area pertaining to the Agricultural Engineering Department of the Universidade Federal de Viçosa (UFV). The

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor.

² Prof. Doutora, Depto de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, CEP: 8003050, Curitiba, PR. Fone (41) 33505689, e-mail: doloreswolschick@hotmail.com

³ Prof. Titular, Ph.D., Depto de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG., bolsista CNPq.

⁴ Prof. Titular, Ph.D., Depto de Fitotecnia, UFV, Viçosa, MG.

⁵ Prof. Adjunto, D.S., Depto de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG., bolsista CNPq.

maize was sowed in drainage lisimeters and the crop was conducted in such a way to reach the potential yield. Determinations of the leaf area, leaf senescence and the dry matter of the aerial organs of the plant and roots were accomplished during the development cycle of the maize hybrid Agromen 2012. The results showed that t

he growth and development model of ²

the maize plants estimates appropriately the values of the leaf area index and the dry matter accumulation in the organs of the plant during the development cycle of this crop.

Key words: photosynthesis, dry matter, plant breathing

INTRODUÇÃO. O acúmulo de matéria seca na planta depende do balanço entre os processos de fotossíntese e respiração (Taiz & Zeiger, 1991). A respiração pode ser dividida, teoricamente, em respiração de crescimento e de manutenção. A respiração relacionada ao crescimento corresponde à quantidade de carboidratos necessária para a síntese de nova fitomassa, enquanto, a respiração de manutenção corresponde à quantidade de carboidratos necessária para a manutenção dos órgãos existentes. Em modelagem, o crescimento dos órgãos ocorre por meio de um percentual de carboidrato direcionada a cada órgão, que é controlada pela demanda e por mecanismos de coordenação.

O uso de técnicas de simulação envolvendo a planta serve de suporte para pesquisas de campo e para o uso eficiente e sustentável da água, dos nutrientes e dos pesticidas no sistema produtivo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo mecanístico de simulação do crescimento e desenvolvimento para a cultura do milho (*Zea mays* L.) e testá-lo comparando os resultados obtidos por simulações com aqueles obtidos experimentalmente.

MATERIAL E MÉTODOS. O modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas de milho foi estruturado em três compartimentos principais. No primeiro compartimento, é calculada a taxa de assimilação diária de CO₂ por meio da fotossíntese do dossel da cultura, conforme France & Thornley (1984) e Thornley & Johnson (2000) (Equação 1). No segundo compartimento, o carboidrato produzido é utilizado prioritariamente para satisfazer a demanda da respiração de manutenção, que é calculada em função da matéria seca existente em cada órgão da planta e do coeficiente de respiração de manutenção (Bonato et al., 1999 e

Arora & Gajri, 2000). No terceiro compartimento, o restante do carboidrato é translocado para os diferentes órgãos da planta, de acordo com a taxa de desenvolvimento da cultura (Wolschick, 2004) e é convertido em matéria seca por meio do coeficiente de conversão de cada órgão da planta (Arora & Gajri, 2000).

$$Pd = \frac{Pmh}{k} \ln \left[\frac{(\Omega + \beta + (2\Omega\beta + \beta^2)^{1/2})}{(\Omega \exp^{-kIAF} + \beta + (2\Omega\beta \exp^{-kIAF} + \beta^2)^{1/2})} \right] \quad (1)$$

em que Pd é a fotossíntese bruta diária ($\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de CO_2); $\Omega = \alpha k \text{RFA} / D_d$; $\beta = (1 - \tau) P_m$; τ é o coeficiente de transmissividade; $P_m = P_{m20} \psi$; $\psi = (t_{\text{med}} - t_b) / (t_r - t_b)$; P_{m20} é a fotossíntese máxima a 20°C ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2); t_r é a temperatura de referência fixada a 10°C ; t_b é a temperatura basal da cultura ($^\circ \text{C}$); t_{med} é a temperatura média do ar ($^\circ \text{C}$); D_d é a duração do dia (s); RFA é a radiação fotossinteticamente ativa ($\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$); k é o coeficiente de extinção da radiação no dossel (adimensional); α é a eficiência fotossintética inicial da cultura (kg J^{-1} de CO_2); IAF é o índice de área foliar (adimensional); h é o número de horas de brilho solar.

O índice de área foliar foi obtido pela multiplicação da matéria seca acumulada nas folhas pela área foliar específica (AFE). As perdas de matéria seca devido à senescência de folhas, caules e raízes foram translocadas para o enchimento de grãos.

O experimento foi conduzido em conjunto de 20 lisímetros de drenagem localizados na Área Experimental de Hidráulica e Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os lisímetros de drenagem consistiram de caixas d'água de amianto de $1,06 \text{ m}^3$.

Na semeadura do milho Agromen 2012 (Híbrido Duplo Super Precoce) a adubação foi efetuada objetivando a produção potencial da cultura. Na emergência foi realizado desbaste até população de 60.000 plantas ha^{-1} e selecionadas plantas para determinações não destrutivas de área foliar, senescência de folhas e emergência de folhas durante o ciclo da cultura. Além disso, semanalmente, duas plantas eram colhidas para obtenção da massa da matéria seca de colmos, folhas, pendão, sabugo, palha da espiga e grãos. A massa da matéria seca de raízes foi obtida pela coleta de todo o volume de solo ocupado pela planta.

Os dados meteorológicos necessários à utilização do modelo e manejo da irrigação foram adquiridos numa estação meteorológica próxima ao experimento e da Estação Experimental de Hidráulica e Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Para testar o modelo, ajustou-se equação de regressão linear entre os dados estimados e

observados, calculou-se a raiz quadrada do desvio médio (RMSD) (Probert et al.,1998 e Kobayashi & Salam, 2000) e o erro percentual médio (e_m), conforme as equações apresentadas a seguir, respectivamente:

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (8)$$

$$e_m = \left(\frac{1}{n} \right) \left[\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{y_i} \right] * 100 \quad (9)$$

em que n é o número de observações; x_i é o valor estimado da variável de interesse na n -ésima observação; e y_i é o valor observado da variável de interesse na n -ésima observação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO. Os valores de índice de área foliar estimados acompanharam o comportamento dos valores obtidos experimentalmente (Figura1). O bom desempenho do modelo em estimar os valores de índice de área foliar é confirmada pelos resultados estatísticos (Tabela 1). Quanto mais eficiente for o modelo em estimar os valores de índice de área foliar, mais realista é a simulação da assimilação de CO_2 , melhorando o desempenho do modelo em estimar o acúmulo de matéria seca na planta. Verifica-se (Tabela 1) que os coeficientes de declividade para a matéria seca acumulada na folha, no caule e na raiz ficaram próximo de 1, fazendo com que a reta da equação ajustada ficasse bem próxima da linha 1:1. O valor do erro percentual médio também indica bom ajuste entre os valores observados e estimados destas variáveis.

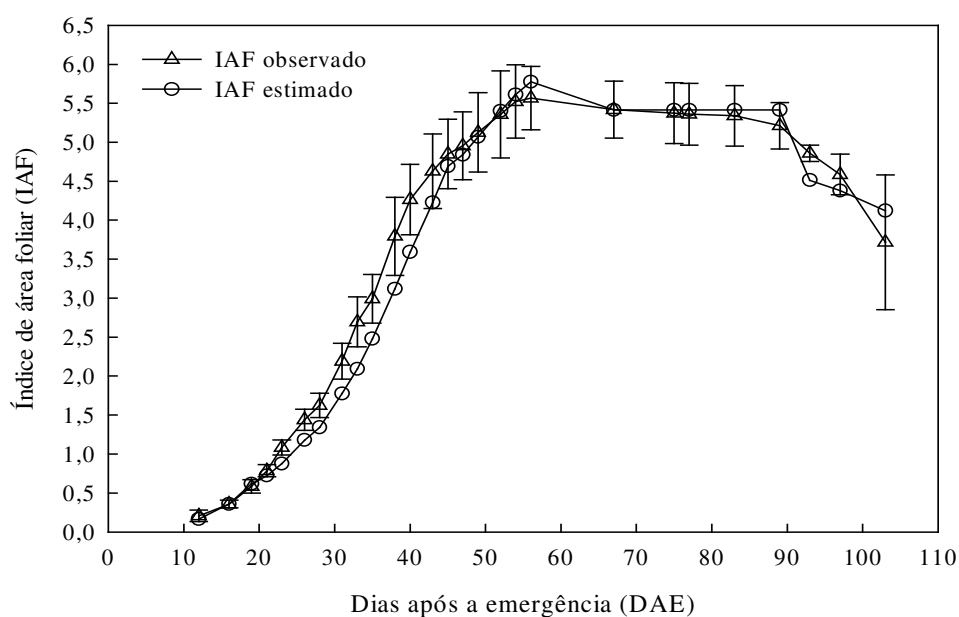


Figura 1 – Valores de índice de área foliar observados e estimados pelo modelo.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos usados na comparação dos valores experimentais aos valores estimados pelo modelo de crescimento e desenvolvimento de planta de milho.

Variável	a	b	R ²	RMSD	e _m
IAF	0,03	1,039	0,99	0,31	8,61
Folha	-7,21	1,113	0,99	43,69	11,57
Caule	-8,80	1,028	0,98	66,83	9,97
Pendão	21,13	0,323	0,22	10,21	32,34
Sabugo	16,67	1,137	0,83	52,44	26,44
Palha da Espiga	58,68	0,700	0,32	59,99	26,92
Grão	-87,62	1,208	0,90	199,11	51,11
Raiz	-1,92	0,996	0,93	20,38	31,40

a = coeficiente linear; b= coeficiente de declividade; R²= coeficiente de determinação; RMSD = raiz quadrada do desvio médio; e_m = erro percentual médio.

Os valores estimados de matéria seca acumulada no pendão, no sabugo e na palha da espiga acompanharam a tendência dos valores observados mas, a diferença entre eles foi grande. Essa variação pode ser explicada em parte pela deficiência de informações na literatura sobre os coeficientes de respiração de manutenção e coeficiente de conversão destes órgãos.

A produção de matéria seca de grãos foi subestimada pelo modelo, principalmente no estágio em que o aumento de matéria seca nos grãos é linear (Figura 2). Por outro lado, no final do ciclo, o modelo superestimou a produção de grãos em 10%. Ma et al. (2003), realizando simulações de crescimento de planta com dados de vários anos agrícolas, observaram variação de 10 a 35% entre os valores de produção de grãos de milho estimados e observados.

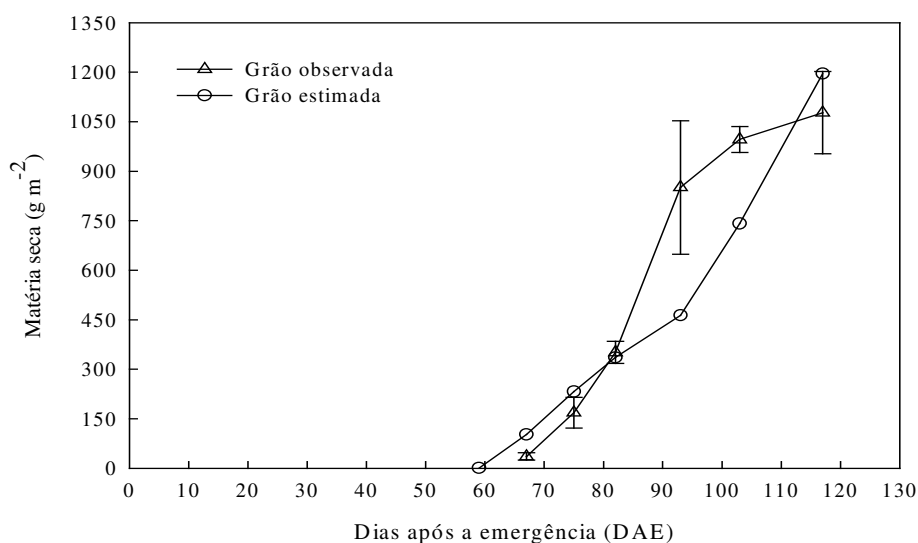


Figura 2 – Valores acumulados de matéria seca de grão observada e estimada pelo modelo

Segundo Zhang et al. (2002), o processo de formação de grãos é muito complexo e sensível às condições internas da planta e do meio ambiente, o que torna a simulação do acúmulo de matéria seca nesse órgão mais complexa que nos demais órgãos da planta. De forma semelhante ao que foi obtido neste trabalho, Arora & Gajri (2000) também observaram maiores valores de RMSD para os grãos, em relação aos demais órgãos da planta.

CONCLUSÕES. O modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas de milho estimou de forma adequada os valores de índice de área foliar e acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta durante o estágio vegetativo. Durante o estágio reprodutivo, os valores estimados não acompanharam o comportamento do acúmulo de matéria seca dos valores observados experimentalmente e, somente no final do ciclo da cultura, os valores estimados foram semelhantes aos valores observados.

AGRADECIMENTOS. FAPEMIG, CNPq, DEA/UFV

BIBLIOGRAFIA.

- Arora, V.K. & Gajri, P.R. Assessment of a crop growth-water balance model for predicting maize growth and yield in a subtropical environment. *Agricultural Water Management*, v.46, p.157-166, 2000.
- Bonato, O.; Schulthess, F.; Baumgärtner, J. Simulation model for maize crop growth based on acquisition and allocation processes for carbohydrate and nitrogen. *Ecological Modelling*, v.124, p.11-28, 1999.
- France, J. & Thornley, J.H.M. Mathematical models in agriculture. The quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. London: Butterworth, 1984. 334p.
- Kobayashi, K. & Salam, M.U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, v.92, p.345-352, 2000.
- Ma, L.; Nielsen, D.C.; Ahuja, L.R.; Malone, R.W.; Saseendran, S.A.; Rojas, K.W.; Hanson, J.D.; Benjamin, J.G. Evaluation of RZWQM under varying irrigation levels in eastern Colorado. *Transactions of the ASAE*, v.46, n.1, p.39-49, 2003.
- Probert, M.E.; Dimes, J.P.; Keating, B.A.; Dalal, R.C.; Strong, W.M. APSIM's water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. *Agricultural systems*, v.56, n.1, p.1-28, 1998.
- Taiz, L. & Zeiger, E. Plant physiology. California: Cummings Publishing, 1991. 565p.
- Thornley, J.H.M.; Johnson, I.R. Plant and crop modelling. New Jersey: the Blackburn Press, 2000. 669p.
- Wolschick, D. Modelo SIMASS-C: inclusão da modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho. Viçosa: UFV, 2004. 140p. Tese Doutorado.
- Zhang, Y.; Changsheng, L.; Zhou, X.; Moore Iii, B. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. *Ecological Modelling*, v.151, p.75-108, 2002.