

MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DAS ÉPOCAS DE FLORESCIMENTO E DO PONTO DE MATURIDADE FISIOLÓGICA NA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)¹

Paula Munhoz ANTUNES², Durval DOURADO-NETO³, Antônio Luiz FANCELLI⁴

RESUMO

Com o objetivo de elaborar e aferir um modelo matemático para previsão do acúmulo de matéria seca, e das épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica na cultura de milho em função da temperatura média diária do ar, foi conduzido um experimento na área do Departamento de Agricultura da ESALQ, Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP (22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 546 m de altitude) utilizando três híbridos: F-5013, BR-206 e P-4071. Em função dos resultados obtidos, verificou-se que o modelo sugerido é utilizável para representar a variação temporal do acúmulo de matéria seca, bem como para prever as épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica.

INTRODUÇÃO

No Brasil o rendimento médio da cultura de milho gira em torno de 2500 kg.ha⁻¹ (Lima, 1995). Um dos fatores determinantes dessa realidade é a não adequação da época de semeadura em função da soma calórica ideal relativa ao melhor desempenho fisiológico. A capacidade da planta de produzir matéria seca, incluindo grãos, está diretamente relacionada com a quantidade de energia luminosa disponível e com a capacidade de aproveitamento dessa energia (Costa, 1994), a qual está correlacionada com a temperatura média do ar.

O desenvolvimento de culturas anuais, com crescimento determinado pode ser dividido em três partes: i. inicial: crescimento lento (momento do estabelecimento); ii. intermediária: crescimento rápido (consolidação da cultura); e iii. final: maturação (crescimento pequeno ou nulo). O acúmulo de matéria seca pode ser estimado através de modelos matemáticos (Pereira, 1987).

O modelo matemático proposto neste trabalho é um instrumento que possibilita a previsão da variação temporal de matéria seca relativa, da época de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de milho.

A proposição do presente modelo é justificável por se tratar de uma importante ferramenta para auxiliar na interpretação de dados experimentais, definição de população de plantas, épocas de semeadura, colheita (grão ou silagem) e utilização de fertilizantes, racionalizando assim a produção e permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais tais como chuva e temperatura, favorecendo o planejamento de atividades agrícolas ao nível de propriedade, e no zoneamento agroclimático ao nível de região.

O presente trabalho tem por objetivo elaborar um modelo matemático para previsão da variação temporal do acúmulo de matéria seca, e das épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados necessários para calibrar o modelo foram coletados em um experimento conduzido na área experimental do Departamento de Agricultura da ESALQ, USP, em Piracicaba, SP (22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 546 m de altitude), onde foi feito o preparo de solo, adubação de

¹ Trabalho referente ao Projeto de Iniciação Científica intitulado "Modelo matemático para previsão das épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica na cultura de milho (*Zea mays* L.)".

² Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma, Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Bolsista da FAPESP (Processo 96/07198-3).

³ Professor Doutor, Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, Piracicaba, SP, 13418-900, Bolsista da CNPq.

⁴ Professor Doutor, Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, Piracicaba, SP, 13418-900.

correção, semeadura (18 de outubro de 1996) dos três híbridos (F-5013, BR-206 e P-4071), adubação na semeadura e em cobertura (N, K), e coletas para análise de crescimento e colheita (1 de março de 1997).

A semeadura foi feita mecanicamente utilizando um espaçamento de 0,85 m entre linhas e uma população de 58000 plantas.ha⁻¹. As adubações de semeadura e cobertura foram feitas de acordo com a análise química do solo e do rendimento almejado. Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central.

Para calibração do modelo, foram utilizados três híbridos comerciais de milho onde a fenologia foi observada diariamente, e a análise de crescimento foi realizada em intervalos de quinze dias aproximadamente.

O desenvolvimento relativo da cultura foi computado desde a semeadura até o ponto de maturidade fisiológica através da seguinte equação:

$$Dr_n = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_b)}{It_{pmf}} \quad \text{se } (T_b \leq T_i \leq T_m) \quad (0 \leq Dr_n \leq 1) \quad (i, n \in \mathbb{N}) \quad (1)$$

onde Dr_n refere-se ao desenvolvimento relativo acumulado da cultura até o n-ésimo dia após a semeadura. T_i à temperatura média do ar (°C) no i-ésimo dia após a semeadura (se $T_i > T_m$, faz-se $T_i = T_m$ para efeito de cálculo), It_{pmf} ao índice térmico (soma calórica para que seja atingido o ponto de maturidade fisiológica) (°C.dia), T_b e T_m às temperaturas basal (10°C) e máxima (30°C) da cultura, respectivamente.

O modelo do co-seno foi proposto para prever a variação temporal diária da massa de matéria seca relativa total (Wr_i) da parte aérea da planta (Tabela 1).

$$Wr_i = \cos^q \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Dr_i) \right\} \quad (q \in \mathbb{R} / q > 2) \quad (2)$$

$$Wr_i = \frac{W_i}{W_m} \quad (3)$$

onde W_i e W_m referem às massas de matéria seca total, por unidade de área (kg.m⁻²), da parte aérea no i-ésimo dia após a semeadura e no ponto de maturidade fisiológica, respectivamente, e q ao fator de forma da curva de crescimento.

Para estimativa do fator de forma (q), através de análise de regressão não linear, utilizou-se o método iterativo de Newton-Raphson:

$$q_{k+1} = q_k - \frac{\sum_{i=1}^n (Wr_i \cdot X_i^{q_k} \ln X_i) - \sum_{i=1}^n (X_i^{2q_k} \ln X_i)}{\sum_{i=1}^n (Wr_i \cdot X_i^{q_k} \ln^2 X_i) - 2 \sum_{i=1}^n (X_i^{2q_k} \ln^2 X_i)} \quad (4)$$

$$X_i = \cos \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Dr_i) \right\} \quad (5)$$

Utilizou-se o procedimento de anamorfose para calcular o valor inicial do fator de forma q_0 :

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Wr_i + X_i)}{\sum_{i=1}^n \ln^2 X_i} \quad (6)$$

Para determinar o desenvolvimento relativo da cultura referente ao florescimento (Dr_f), foi utilizada a seguinte equação:

$$Dr_f = \frac{It_f}{It_{pmf}} \quad (7)$$

onde It_f refere-se ao índice térmico ou soma calórica (°C.dia) para o florescimento.

Tabela 1. Assunções para obtenção do modelo do co-seno.

caso	condição	Descrição
1 2	se $Dr=0 \Leftrightarrow Wr=0$ se $Dr=0 \Leftrightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0$	No instante da semeadura ($Dr=0$), não há acúmulo de matéria seca da parte aérea ($Wr=0$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é desprezível ($\frac{dWr}{dDr} = 0$)
3 4	se $Dr=1 \Leftrightarrow Wr=1$ se $Dr=1 \Leftrightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0$ ¹	No ponto de maturidade fisiológica ($Dr=1$), o acúmulo de matéria seca é máximo ($Wr=1$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é nula ($\frac{dWr}{dDr} = 0$)
5 6 7	se $0 < Dr < 1 \Leftrightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0$ ² se $0 < Dr < Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) \Leftrightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} > 0$ se $Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) < Dr < 1 \Leftrightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} < 0$	Durante o ciclo da cultura ($0 < Dr < 1$), a variação temporal do acúmulo de matéria seca apresenta comportamento sigmoidal. Existe, portanto, um único ponto de máxima taxa de acúmulo de matéria seca ($\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0$)

$$1 \quad \frac{dWr}{dDr} = \frac{-q\pi}{2} \cos^{(q-1)}(Y) \sin(Y)$$

$$2 \quad \frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi^2}{4} [(q-1)\cos^{(q-2)}(Y)\sin^2(Y) - \cos^q(Y)] \text{ sendo } Y = \frac{\pi}{2}(1-Dr)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

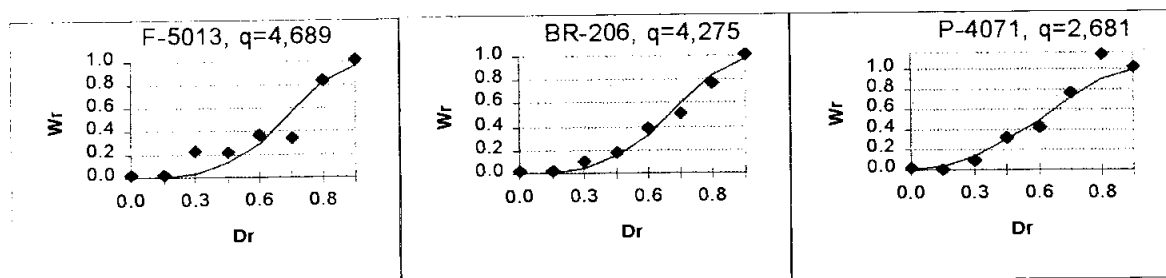


Figura 1. Modelo do co-seno para os três diferentes híbridos.

Os valores de desenvolvimento relativo referentes ao florescimento (Dr_f) foram de 0,502 ($It_f=777$ °C.dia), 0,494 ($It_f=765$ °C.dia) e 0,521 ($It_f=806$ °C.dia) para os híbridos F-5013, BR-206 e P-4071, respectivamente. Assumiu-se que o ponto de maturidade fisiológica foi atingido no dia 1 de março de 1997. Sendo assim, o índice térmico da cultura de milho (It_{pmf}), referentes aos três híbridos, foi de 1548 °C.dia.

CONCLUSÕES

O modelo sugerido pode ser utilizado para representar a variação temporal do acúmulo de matéria seca na cultura de milho, bem como para prever as épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica.

BIBLIOGRAFIA

- COSTA, A.F.S. da. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio. Viçosa, 1994. 109p. (Tese-UFV).
- LIMA, M.G. de. Calibração e validação do modelo ceres-maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. (Tese-ESALQ).
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 33p. (Boletim Técnico, 114).