

# DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA DA CURVA DE CRESCIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)<sup>1</sup>

Axel GARCIA y GARCIA<sup>2</sup>, Osvaldo José de OLIVEIRA<sup>3</sup>, Durval DOURADO NETO<sup>4</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de determinar o fator de forma da curva de crescimento do sistema radicular da cultura de milho irrigado, foi conduzido um experimento na área do Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, no período de 13/set/96 a 15/ jan/97, utilizando três cultivares. Assumiu-se um modelo sigmoidal para representar a relação funcional entre a profundidade efetiva do sistema radicular e a soma calórica, onde foram determinados os fatores de forma da curva de crescimento do sistema radicular: 0,942; 0,944 e de 0,946 referentes aos cultivares CMS-54, CMS-36 e POOL-18, respectivamente.

**Palavras-chave:** raiz, milho, modelagem

**ABSTRACT:** With the purpose of determining the shape factor of irrigated maize root growth curve, an experiment was carried out in the experimental area of the Department of Agriculture, University of São Paulo, Piracicaba, Brazil, from September 13, 1996 to January 15, 1997, using three cultivars. A sigmoidal model was used to represent the functional relationship between effective root depth and termic index; the shape factors of 0.942, 0.944 and 0.946 were estimated for CMS-54, CMS-36 and POOL-18 cultivars, respectively.

**Key-words:** root, maize, modeling

**INTRODUÇÃO:** No balanço hídrico de uma cultura, a profundidade do sistema radicular é de vital importância para determinar a quantidade máxima de água necessária para a planta num determinado estágio de crescimento além de ser chave para verificar a possibilidade de técnicas de irrigação. Nas regiões áridas ou semi-áridas, a necessidade de otimizar o recurso água é uma realidade óbvia que deve ser enfrentada e, o conhecimento do crescimento radicular das culturas é uma variável indispensável que, sem dúvida, viabiliza a possibilidade de planos com vistas à otimização do recurso água.

**REVISÃO DE LITERATURA:** Segundo Borg & Grimes (1986), a relação temporal da profundidade efetiva do sistema radicular é importante para estimar o consumo de água e

---

<sup>1</sup> Trabalho referente ao projeto de pesquisa “Simulação de atributos do clima, crescimento radicular e rendimento agrícola”, CNPq.

<sup>2</sup> Estudante de Pós-graduação, Bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. C.P. 9, Piracicaba, SP, 13418-900. Email: aggarcia@carpa.ciagri.usp.br

<sup>3</sup> Estudante de Pós-graduação, Bolsista do CAPES, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. C.P. 9, Piracicaba, SP, 13418-900.

<sup>4</sup> Professor Doutor, Departamento de Agricultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. C.P. 9, Piracicaba, SP, 13418-900. Pesquisador do CNPq.

para tal, é considerado como uma única raiz. Driessen (1986), propõe um modelo linear para simular a relação temporal da raiz onde, a profundidade efetiva do sistema radicular no  $i$ -ésimo dia ( $Z_{e_i}$ ) após a semeadura, varia linearmente a partir de um valor inicial ( $Z_{e_{ini}}$ ) até atingir a profundidade máxima ( $Z_{e_{max}}$ ) (zona I), permanecendo constante é igual ao valor máximo, até ser atingido o ponto de maturidade fisiológica (zona II). Dourado-Neto & Jong-van-Lier (1991) e Dourado-Neto (1996), sugerem que a profundidade efetiva do sistema radicular também pode crescer potencial ou sigmoidalmente (equações 1 e 2).

$$Z_{e_i} = Z_{e_{ini}} + \left( \frac{Z_{e_{max}} - Z_{e_{ini}}}{2} \right) \cdot \left[ 1 - \cos \left( \pi^{1/F} \cdot \frac{GD_i}{\alpha GDT} \right)^F \right] \quad (Se \ GD_i < \alpha GDT) \quad (Zona \ I) \quad (1)$$

$$Z_{e_i} = Z_{e_{max}} \quad (Se \ GD_i \geq \alpha GDT) \quad (Zona \ II) \quad (2)$$

onde F é o fator de forma da curva de crescimento radicular e  $\alpha$  é o desenvolvimento relativo correspondente ao  $Z_{e_{max}}$ . Para (F=1), o sistema radicular cresce segundo uma função linear com o tempo e para (0,0<F<1,0), significa que o sistema radicular cresce segundo uma função potencial com o tempo (Dourado Neto, 1996).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Caracterizou-se o ciclo das plantas com o conceito de unidades térmicas. O fator de forma F foi encontrado através da análise de regressão não linear com os pares de dados ( $GD_i/\alpha \cdot GDT$ ) versus  $Z_{e_i}$ , adotando o modelo da equação 1, utilizando o método dos mínimos quadrados e a solução de Newton-Raphson. Minimizando a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores medidos e estimados da profundidade efetiva do sistema radicular, tem-se como resultado:

$$\frac{dSQE}{dF} = \kappa \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left[ 1 - \cos(\pi \cdot \omega_i^F) \right] \cdot \text{sen}[\pi \cdot \omega_i^F] \cdot \omega_i^F \cdot \ln \omega_i \right\} - 2 \cdot \sum_{i=1}^n (Z_{e_i} - Z_{e_{ini}}) = g(F) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2SQE}{dF^2} = \sum_{i=1}^n \left\{ \kappa \cdot \left\{ \omega_i^F \cdot \ln^2 \omega_i \cdot \left\{ \pi \cdot \text{sen}^2[\pi \cdot \omega_i^F] \cdot \omega_i^F + \pi \cdot \cos[\pi \cdot \omega_i^F] \cdot \left\{ 1 - \cos[\pi \cdot \omega_i^F] \right\} \cdot \omega_i^F \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \text{sen}[\pi \cdot \omega_i^F] \cdot \left\{ 1 - \cos[\pi \cdot \omega_i^F] \right\} \right\} \right\} \right\} = g'(F) \end{aligned} \quad (4)$$

sendo  $\kappa = \pi \cdot \frac{(Z_{e_{max}} - Z_{e_{ini}})^2}{2}$  e  $\omega_i = \frac{GD_i}{\alpha GDT}$ . Utilizando-se o método iterativo de Newton-

Raphson, encontra-se o valor do fator de forma F para cada cultivar de milho através da seguinte expressão:

$$F_k = F_{k-1} - \frac{g(F_{k-1})}{g'(F_{k-1})} \quad (5)$$

onde F é o fator de forma da curva de crescimento radicular referente à  $k$ -ésima iteração.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A relação temporal da curva de crescimento radicular é apresentada na Figura 1, sendo essa bastante semelhante, com diferenças mínimas no final do ponto de maturidade fisiológica da cultura. A boa aderência do modelo com os dados medidos é demonstrado pelo coeficiente de correlação (Tabela 1) onde, o cultivar POOL-18 apresentou uma maior exatidão (teste F) em relação aos outros cultivares.

**CONCLUSÃO:** O modelo sigmoidal representa bem a relação funcional entre a profundidade efetiva do sistema radicular e a soma calórica, sendo que, o fator de forma encontrado para a cultura de milho foi similar nos três cultivares estudados. A

profundidade efetiva máxima foi atingida quando a soma calórica é de 64% da soma calórica para que seja atingido o ponto de maturidade fisiológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORG, H. & GRIMES, D.W. **Depths development of roots with time: an empirical description**, Trans. ASAE, vol.29, n.1, p. 194-197, 1986
- DOURADO NETO, D. **Balço hídrico cíclico e seqüencial: estimativa de armazenamento de água no solo**. In: XI CONIRD, Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Campinas, SP, 16-20/setembro/96, 1996, p. 30-42.
- DOURADO NETO, D. & JONG van LIER, Q. de. **Programa para elaboração do Balço hídrico para culturas anuais e perenes**. Piracicaba, ESALQ/Depto. de Agricultura, p.58, 1991 (Manual do usuário)
- DRIESSEN, P.M. **A first introduction to quantifie land evaluation procedures**. Wageningen, Centre for World Food Studies, 1986, 186 p.

**TABELA 1.** Análise estatística entre os dados medidos e os estimados pelo modelo sigmoidal da equação (1) utilizando o fator de forma (F) de cada cultivar.

| CULTIVAR | F     | r <sup>2</sup> | ERRO PADRÃO | VALOR F |
|----------|-------|----------------|-------------|---------|
| CMS-54   | 0,942 | 0,984          | 3,17        | 576,69* |
| CMS-36   | 0,944 | 0,989          | 2,73        | 832,95* |
| POOL-18  | 0,946 | 0,989          | 2,76        | 838,57* |
| MÉDIA    | 0,944 |                |             |         |

\*Significativo ao nível de probabilidade de 1% pelo teste de F

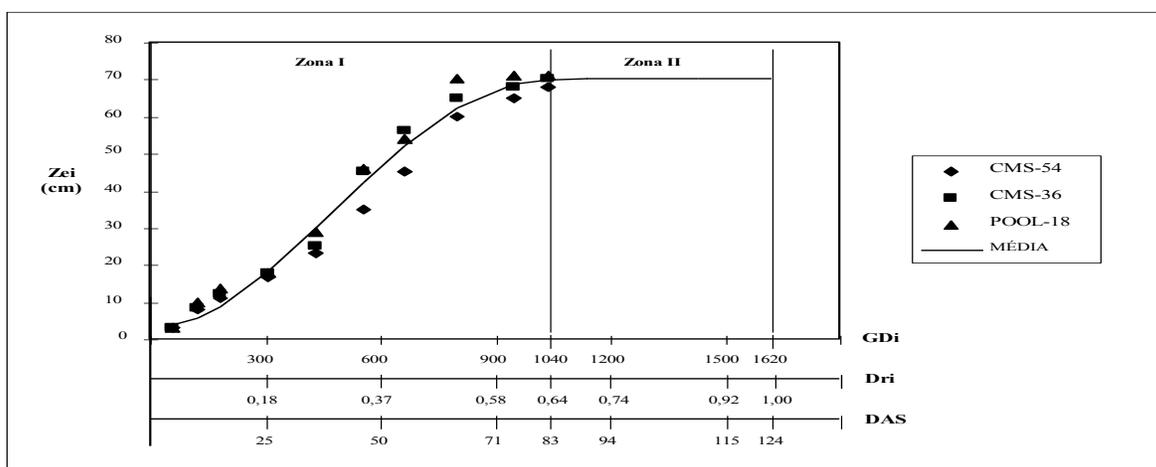


Figura 1. Relação temporal da curva de crescimento do sistema radicular do milho, em termos de graus-dia (GD<sub>i</sub>), desenvolvimento relativo (Dri) e dias após a semeadura (DAS).