

COMPARAÇÃO DE MODELOS DE CRESCIMENTO PARA O MELOEIRO IRRIGADO¹

K. K. R da P. RODRIGUES²; C. E. MAIA³; V. da S. LACERDA⁴

RESUMO: Muitos estudos são realizados com dados gerados a partir do crescimento de plantas, enquadrando-se nesses estudos estão os modelos matemáticos não lineares. É necessário o ajuste de modelos de crescimento que permitam estimar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e sistemas de produção vegetal. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os modelos de crescimento de Gompertz, Richards, Logístico, Weibull e o proposto por Maia e Moraes para o crescimento do meloeiro Orange Flesh. Sendo conduzida na Fazenda Agrícola Famosa localizada no município de Tibau-RN. As características avaliadas foram números de folhas (NF), área foliar (AF) e matéria seca total (MST), analisadas aos 17, 24, 31, 38 e 45 dias após o transplante (DAT), amostrando uma planta por parcela. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC) com 4 repetições e 4 tratamentos. O ajuste não linear foi realizado usando o software SAEG desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e os modelos foram avaliados pelo valor estimado em função do observado por meio da metodologia proposta por Gauch. Observou-se que os modelos propostos se ajustaram bem aos dados observados.

PALAVRAS-CHAVE: *Cucumis melo*, modelagem, modelos não lineares.

COMPARATION OF GROWTH MODELS FOR IRRIGATED MELON.

SUMMARY: Several studies are developed using data obtained from plant growth measurements, including those based on nonlinear mathematical models. Adjustment of a growth model is important for estimating crop response to environment and its interactions with cropping practices and plant production systems. The objective of this work was to evaluate growth models of Gompertz, Richards, Logistic, Weibull and the model proposed by Maia and Moraes for growth of Orange Flesh melon. This research was carried out at Agrícola Famosa Farm, in Tibau, RN, Brazil. Characteristics evaluated were number of leaves (NF), leaf area (AF) and total dry mass (MST), measured at 17, 24, 31, 38 and 45 days after

¹Parte do trabalho de monografia de graduação em agronomia do primeiro autor.

²Engenheira Agrônoma, mestre em Irrigação e Drenagem, UFERSA. E-mail: kellykaliane@yahoo.com.br.

³Engenheiro Agrônomo, DS em Recursos Naturais. Professor do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA, celsemy@ufersa.edu.br.

⁴Engenheira Agrônoma, Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró-RN. E-mail: vivi.esam@hotmail.com

transplanting (DAT), taking one plant per plot. Experimental design was a randomized blocks (DBC) with four replications and four treatments. Nonlinear adjustment was accomplished by means of software SAEG, developed by Federal University of Viçosa, Brazil. Models were evaluated by estimated value as a function of observed value, using methodology proposed by Gauch. Observations showed a good adjustment of proposed models to observed data.

KEYWORDS: *Cucumis melo*, modeling, nonlinear models.

INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Norte é considerado o maior produtor e exportador de melão do Brasil. Nas últimas décadas o Brasil passou de importador a exportador dessa hortaliça, devido, principalmente, às condições climáticas favoráveis existentes na região Nordeste. Sua produção tem aumentado nos últimos anos, e dentre os estados onde se mais produz melão destacam-se Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco. Entretanto, apesar da importância econômica dessa cultura, os produtores sentem a necessidade de informações mais precisas que lhes permitam obter produções elevadas associadas à redução nos custos de sua produção. Por isso, por muito tempo, estudou-se o meloeiro enfatizando os aspectos produtivos. Desse modo, vários métodos vêm sendo propostos para a descrição do crescimento e da produtividade das culturas, em resposta às variações ambientais. Com isso, a utilização de funções matemáticas na análise de crescimento tem sido reconhecida por diversos autores (KVET et al, 1971).

Tais modelos eram simplesmente um ajuste de curvas entre tempo e matéria seca, mas com os avanços da estatística e o aumento da capacidade e disponibilidade dos computadores, métodos mais sofisticados foram desenvolvidos e com isso suas vantagens foram evidenciadas. Dentre elas, destacam-se a capacidade de se obter um grande número de informações por uma única expressão matemática; não existe a necessidade de pressupor que o crescimento em si seja de um determinado tipo, mas apenas que as funções matemáticas se ajustam adequadamente à variação do peso seco e da área foliar durante a estação de crescimento; as amostragens não necessitam ser simultâneas em tratamentos e variedades diferentes quando os experimentos são conduzidos simultaneamente, nem necessitam ser realizadas em intervalos regulares e em grande frequência, além de pequenos erros de amostragem serem suavizados estatisticamente (MORAIS, 2006).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar os modelos de crescimento de Gompertz, Richards, Logístico, Weibull e o proposto por Maia e Moraes (2005) para o crescimento do meloeiro Orange Flesh irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido entre os meses de setembro e dezembro de 2005 na Fazenda Agrícola Famosa, localizada no município de Tibau-RN. O clima da região é classificado segundo a classificação de Köppen, como BSw^h, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono. A cultivar plantada foi a Orange Flesh semeada em bandejas e transplantada em espaçamento de 1,8 x 0,3 m, sendo irrigada por gotejamento com uma planta por emissor.

Foram analisados o número de folhas (NF), a área foliar (AF) e a matéria seca total (MST), sendo o material coletado aos 17, 24, 31, 38 e 45 dias após transplântio (DAT), amostrando-se uma planta por parcela. O NF foi obtido pela contagem total do NF totalmente expandidas. A AF foi determinada através de um integrador de área, marca LI-COR, modelo LI-3100 e expresso em cm². A determinação da matéria seca da folha e do ramo (MSFR) teve início com a separação da parte aérea, em seguida foram colocadas em sacos de papel e postos para secar em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C. Posteriormente, foram pesadas diariamente, durante três dias até obtenção do peso constante expresso em gramas (g). A MST foi obtida através do somatório da matéria seca da folha e do ramo, sendo expressa em gramas.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, quatro tratamentos (T1 - preparo total com camalhão, T2 - preparo total sem camalhão, T3 - preparo em faixa com camalhão e T4 - preparo em faixa sem camalhão) e amostrando uma planta por parcela. Tendo em vista o objetivo do trabalho, apenas o T1 foi considerado por ser este o tratamento padrão na região.

Para análise de crescimento os modelos utilizados foram:

$$\text{Logístico:} \quad Y = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta - \gamma \text{DAT})} \quad (1)$$

$$\text{Gompertz:} \quad Y = \alpha \exp[-\exp(\beta - \gamma \text{DAT})] \quad (2)$$

$$\text{Weibull:} \quad Y = \alpha - \beta \exp(-\gamma \text{DAT}^\delta) \quad (3)$$

$$\text{Richards:} \quad Y = \frac{\alpha}{[1 + \exp(\beta - \gamma \text{DAT})]^{1/\delta}} \quad (4)$$

E o proposto por Maia e Moraes:
$$Y = \alpha - \frac{\alpha}{1 + (\beta \cdot DAT)^\gamma} \quad (5)$$

Em que:

Y = variável dependente (NF, AF, MST);

α, β, γ e δ = parâmetros do modelo ajustados por metodologia de regressão não linear;

DAT = dias após o transplântio.

O ajuste não linear foi realizado usando o software SAEG desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os modelos foram avaliados pelo valor estimado em função do observado e utilizou-se a metodologia proposta por GAUCH et al (2003), que leva em consideração a decomposição do quadrado médio dos desvios (MSD) em três componentes: quadrado da bias (SB), declividade não unitária (NU) e falta de correlação (LC), que correspondem a:

$$MSD = \frac{\sum (X_n - Y_n)^2}{N} \quad (6)$$

$$SB = (\bar{X} - \bar{Y})^2 \quad (7)$$

$$NU = (1 - b)^2 \cdot \left(\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{N} \right) \quad (8)$$

$$LC = (1 - r^2) \cdot \left(\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{N} \right) \quad (9)$$

$$MSD = SB + NU + LC \quad (10)$$

Em que:

X, \bar{X} = valores observados e médios, respectivamente;

Y, \bar{Y} = valores estimados e médios, respectivamente;

N = número de pares do modelo;

r = coeficiente de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que os modelos ajustaram-se satisfatoriamente aos dados observados tendo em vista os valores do coeficiente de determinação (R^2) para cada característica avaliada (Tabela 1). Segundo CAMPOS & LEITE (2002) o coeficiente de determinação é uma medida do grau de ajustamento permitindo fazer comparações entre os modelos.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros dos modelos ajustados e do coeficiente de determinação para o número de folhas, área foliar e matéria seca total, por metodologia de regressão não linear

NF		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	116,91	7,01	0,2591	-	0,9985
Gompertz	121,70	4,1	0,1651	-	0,9904
Weibull	118,57	123,53	0,000002	3,96	0,9945
Richards	114,99	11,24	0,3687	2,09	0,9997
Maia e Morais	120,63	0,0369	6,67	-	0,9949
AF		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	5402,63	9,64	0,3923	-	0,9703
Gompertz	5326,17	11,38	0,4811	-	0,9617
Weibull	5428,29	5993,25	0,000001	4,21	0,9626
Richards	5335,14	19,72	0,7023	3,45	0,9777
Maia e Morais	5388,44	0,0408	11,62	-	0,9639
MST		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	68,97	7,78	0,2822	-	0,9962
Gompertz	71,35	4,76	0,1862	-	0,9951
Weibull	69,88	76,42	0,000002	3,92	0,9905
Richards	69,78	6,01	0,2412	0,6194	0,9965
Maia e Morais	71,12	0,0362	7,32	-	0,9968

Apesar do bom ajuste, considerando-se o número de parâmetros dos modelos, percebe-se que o modelo de Weibull e o de Richards apresentaram quatro parâmetros, enquanto que os demais, apenas três (Tabela 1). Para tanto, o modelo de Richards foi o que apresentou melhor coeficiente de determinação cujos valores correspondem a 0,9997 para o NF e 0,9777 para a AF, conforme mostrado na Tabela 1. Neste caso, pode recomendá-lo como o melhor modelo para estimar o NF e a AF. Para a MST, o modelo de Maia e Morais, com três parâmetros, foi o que apresentou melhor coeficiente de determinação, além disso, dentre os modelos estudados é o único modelo em que os seus parâmetros são definidos, ou seja, α corresponde ao valor máximo estimado de NF, AF e MST durante o ciclo da cultura, o inverso de β ($1/\beta$) é o tempo que se obtém 50% de α , e γ é o fator de forma.

Segundo MAIA et al (2005) na prática, para o mesmo ajuste, preferem-se os modelos com menor número de parâmetros, devido facilitar os cálculos computacionais, pois quanto mais parâmetros, tenderá ainda mais a forçar o modelo a chegar ao valor desejado. O mesmo é afirmado por PENNING DE VRIES (1987) onde explica que todo modelo matemático é a simplificação do sistema a ser estudado e não pode contemplar todas as variáveis existentes, o que resulta numa previsão não exata da realidade.

Avaliando-se os modelos pelos valores estimados em função dos observados com relação ao MSD, observou-se que estes valores variaram, desde o menor valor encontrado através do modelo de Maia e Morais de 2,1804 para a MST, ao maior, obtido pelo modelo de Weibull no valor 192.120,69 para AF. Mas vale salientar que esses valores variaram

proporcionalmente a cada característica avaliada, como foi o caso dos altos valores para o MSD da área foliar, por serem expressos em cm^2 . Contudo, transformando-se a AF em m^2 , assim como observado para as demais características o MSD foi baixo. Segundo GAUCH et al (2003) quanto menor o valor de MSD, menor o desvio dos dados observados em relação a equação e com isso, melhor o modelo. Na decomposição do MSD observou-se que a falta de correlação (LC) contribui mais para o MSD indicando que o maior erro é devido a este fator, porém mesmo o LC sendo maior na decomposição, os valores dos coeficientes de correlação foram todos superiores a 0,994, exceto para a AF estimada em que apresentou valores superiores a 0,979. Mesmo o LC sendo maior, este não implica em falta de ajuste do modelo, levando-se em consideração que o MSD foi baixo. Assim, pode-se afirmar que todos os modelos avaliados apresentaram bom ajuste aos dados.

CONCLUSÕES

Os modelos propostos para estimar o número de folhas, a área foliar e a matéria seca total na cultura do meloeiro irrigado se ajustam satisfatoriamente aos dados observados, porém recomenda-se que o modelo escolhido seja o que apresentou maior simplicidade computacional e menor número de parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 407 p.
- GAUCH, G.H., HWANG, J.T.G., FICK, G.W. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. **Agronomy Journal**, v.95, p.1442-1446, 2003.
- KVET, J.; ONDOK, J. P.; NECAS, J., et al. Methods of growth analysis, In: SETAK, Z.; CATSTY, J.; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague, 1971.
- MAIA, C. E.; LACERDA, V. da S.; MORAIS, E. R. C. de. Comparação de modelos matemáticos para estimar matéria seca de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 3, Canoas, **Anais...** RS: CBEA, 2005. (CD-ROM).
- MORAIS, Elís Regina Costa de. **Crescimento e produtividade do melão influenciado pelas condições ambientais e cobertura do solo com mulch**. Campina Grande, 2006. 115p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.
- PENNING de VRIES, F.W.T. Some opportunities for using crop models in rice. Proceeding of the international workshop on the impact of weather parameters on growth and yield of rice. **International Rice Research Institute**, p. 291-300, 1987.