

AJUSTAMENTO DE MODELOS NÃO-LINEARES A DADOS DE CRESCIMENTO DE SUÍNOS¹

ALFREDO RIBEIRO DE FREITAS² e CLÁUDIO NÁPOLIS COSTA³

RESUMO - Cinco modelos não-lineares foram ajustados a dados de peso-idade, do nascimento a 168 dias, de 127 suínos Large White e 143 Landrace submetidos a teste de desempenho, em Concórdia, SC, no período de 1979/80. O objetivo foi selecionar o modelo mais adequado ao ajuste, facilidades computacionais e interpretabilidade biológica dos parâmetros. Os animais receberam ração e água à vontade. De 76 a 114 dias, foi ministrada ração com 3.300 kcal/kg de energia digestível (ED) e 18% de proteína bruta (PB); de 114 a 168 dias, ração com 3.250 kcal/kg de ED e 16% de PB. Dados de peso-idade ao nascimento, aos 21 dias e, semanalmente, dos 60 aos 168 dias, foram utilizados no ajuste. Baseado nos valores do coeficiente de determinação corrigido (R^2), quadrado médio residual e interpretabilidade biológica dos parâmetros ajustados, o modelo Logístico, com ponto de inflexão variável em M, apresentou os resultados mais adequados para este estudo. Dois modelos mostraram estimativas pobres dos pesos observados na fase inicial e final do período estudado. A maior taxa de maturidade foi obtida com o modelo Logístico. Todos os modelos apresentaram boas características de ajustamento. Os melhores resultados foram obtidos com suínos machos, independentemente de raças.

Termos para indexação: modelos Logístico, Gompertz, Bertalanffy, curvas de crescimento.

THE FITTING OF NONLINEAR MODELS TO GROWING PIGS DATA

ABSTRACT - Five nonlinear models were fitted to weight-age data from birth to 168 days collected in 127 Large White and 143 Landrace pigs, tested at Concórdia, SC, Brazil, during 1979 and 1980. The purpose of this experiment was to determine the best equation for fitting, computational ease and biological interpretability of the parameters. The pigs were fed from 76 to 114 days with a ration containing 3,300 kcal/kg GE and 18% crude protein, and from 114 to 168 days a finishing ration with 3,250 kcal/kg GE and 16% crude protein. Both feed and water were available ad libitum. Weight data at birth at 21 days, and weekly from 60 to 168 days were used to fit the models. Based on the adjusted coefficient of determination (R^2), residual mean squares and biological interpretability of parameter fitted, the Logistic model with variable inflection point in M, provided the best results for the present study. Two models provided poor estimates of observed weights both in the initial and final phase of the studied period. The highest rate of maturity was provided by the Logistic model. All models showed good adjustment. The best results were obtained with male swine independently of race.

Index terms: growth curves, Logistic model, Gompertz model, Bertalanffy model.

INTRODUÇÃO

O estudo do crescimento de seres vivos através de modelos matemáticos tem despertado grande interesse nos últimos anos. Usualmente, uma família de funções paramétricas é adotada, com o propósito de descrever o desenvolvimento do animal durante sua vida e prever características do crescimento a uma certa idade (Ren & Becker 1981).

O problema da modelagem de crescimento pode ser considerado do ponto de vista biológico e estatístico. Aquele, interpreta o modelo enfatizando o significado biológico dos parâmetros. Este,

preocupa-se principalmente com a estrutura dos dados, a escolha do modelo, sua estimação e utilização para propósitos de produção (Sandlan & McGilchrist 1979).

O grande interesse no estudo de modelos que descrevem o crescimento do corpo do animal em função do tempo, justifica-se no fato de que as informações contidas em uma série de dados, tais como: taxa de crescimento e tamanho à maturidade, podem ser condensados em poucos parâmetros, facilmente interpretáveis do ponto de vista biológico, permitindo uma melhor orientação no manejo do rebanho, avaliação da capacidade genética dos genitores e, conseqüentemente, na seleção (Mischak 1972, Brown et al. 1976, Fitzhugh 1976, Ludwig 1977, Ren & Becker 1981).

Em suínos, vários autores têm-se dedicado ao estudo do crescimento. Os trabalhos, em geral,

¹ Aceito para publicação em 3 de outubro de 1983.

² Eng.º Agr.º, M.Sc., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (CNPISA), Caixa Postal D-3 - CEP 89700 - Concórdia, SC.

³ Zootec., M.Sc., EMBRAPA-CNPISA.

focalizam o desenvolvimento corporal nas suas diversas fases: pré-natal, do nascimento à desmama, da desmama ao abate (Taylor & Hazel 1955, Ullrey et al. 1965, Robison 1976, Walstra 1980), e o crescimento de órgãos: cérebro, baço e pulmão (Robison 1976).

O objetivo deste trabalho é comparar o ajuste de cinco modelos não-lineares a dados de crescimento de suínos, do nascimento aos 168 dias, com ênfase na interpretabilidade biológica dos parâmetros, qualidade de ajuste e características computacionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados dados de peso-idade de 143 suínos da raça Landrace (29 fêmeas e 114 machos) e 127 da raça Large White (45 fêmeas e 82 machos), submetidos a teste de desempenho na Estação de Teste de Reprodutores de Suínos (ETRS), em Concórdia, SC, nos anos de 1979 e 1980.

Os animais foram recebidos na ETRS com, aproximadamente, 20 kg e 60 dias de idade, onde permaneceram em baias individuais, com ração e água à vontade. De 76 a 114 dias, foi ministrada ração de crescimento contendo 3.300 kcal/kg de energia digestível (ED) e 18% de proteína bruta (PB); de 114 a 168 dias, ração de terminação com 3.250 kcal/kg de ED e 16% de PB. De cada animal foram anotados dados de peso ao nascer, aos 21 dias e, semanalmente, dos 60 aos 168 dias.

Utilizando esses dados foram ajustados cinco modelos não-lineares para expressar o crescimento de suínos, com a idade, do nascimento a 168 dias. Os valores iniciais dos parâmetros foram obtidos de acordo com a metodologia proposta por Gallant (1975). As estimativas dos parâmetros foram obtidas pelo método iterativo de mínimos quadrados de Gauss-Newton, através do procedimento para ajuste de modelo não-linear do SAS (Barr et al. 1979).

TABELA 1. Modelos não-lineares e estatísticas relevantes.

Modelo	Equação $Y_t =$	Taxa de maturidade	Peso assintótico	Ponto de inflexão (Y_I, T_I)
a - Gompertz*	e^{A-BK^t}	K	$1n^{-1}(A)$	$e^{A-BK^{-1}n} B/1nK$
b - Gompertz*	$Y_0 e^{L(1-e^{-Kt})} K^{-1}$	K	$Y_0 e^{LK^{-1}}$	$Y_0 e^{LK^{-1}}; K^{-1} 1n(L/K)$
c - Logístico*	$A [1 + e^{-(B + Kt)}]^{-1}$	K	A	A/2, - B/K
d - Logístico*	$A(1 + e^{-(Kt)})^{-M}$	K	A	$A [M(M + 1)^{-1}]^M; K^{-1} 1nM$
e - Bertalanffy	$A(1 - B e^{-Kt})^3$	K	A	$8A/27; 1n3BK^{-1}$

* Família de equações derivadas da forma geral de Richards (1969), segundo Walstra (1980).

As características dos modelos não-lineares e as estatísticas relevantes são descritas na Tabela 1. Em todos os modelos, Y_t representa o peso corporal em kg, no instante t, expresso em dias após o nascimento, enquanto que A, B, K, L, M, Y_0 são parâmetros com a seguinte interpretação biológica (Brown et al. 1976, Fitzhugh 1976, Silveira Junior 1976):

- A - peso assintótico superior, quando $t \rightarrow \infty$;
- B - constante de integração, sem interpretação biológica;
- K - taxa de maturidade pós-natal, em que valores altos indicam maturidade precoce e valores baixos, maturidade retardada;
- L - ângulo da curva de crescimento, quando $t = 0$, ou taxa de crescimento inicial específica;
- M - constante que determina o comportamento da função, permitindo um ponto de inflexão variável;
- Y_0 - peso assintótico inferior, quando $t \rightarrow \infty$; é uma estimativa do peso ao nascer do animal.

O ponto de inflexão (Y_I, T_I) ocorre quando a alteração no crescimento é máxima, ou seja, quando os acréscimos da taxa de crescimento diário em função da idade, passam de crescentes para decrescentes.

RESULTADOS

As curvas de crescimento ajustadas são apresentadas nas Fig. 1 a 4. Independente de raça e sexo, os modelos Gompertz e Logístico, com ponto de inflexão variável, apresentaram comportamento semelhante quanto às estimativas de pesos.

As estimativas de parâmetros ajustados para cada raça, sexo e modelo estão na Tabela 2. Em todas as situações, o modelo Bertalanffy e o Logístico com ponto de inflexão variável apresentaram, respectivamente, maiores assíntotas e valores menores para K.

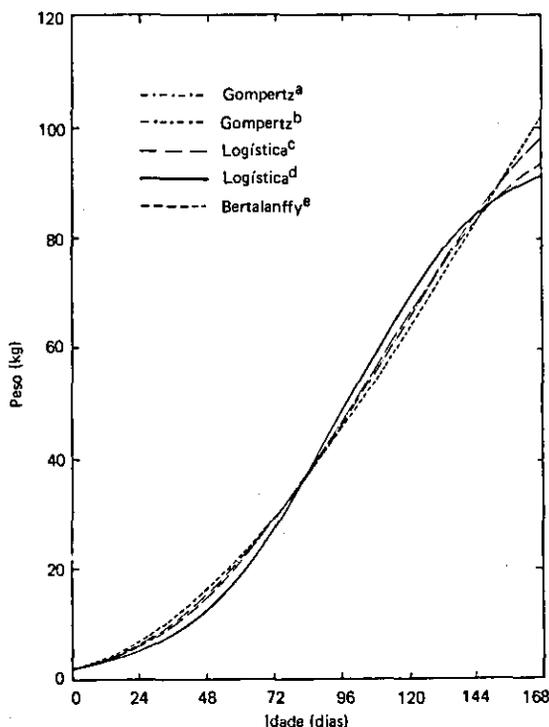


FIG. 1. Curvas de crescimento de suínos Large White fêmeas.

Obs.: a - e: ver Tabela 1.

A Tabela 3 apresenta as médias observadas e estimadas, do peso aos 168 dias e da assíntota para cada raça, sexo e modelo. De um modo geral, o peso médio final observado foi subestimado no grupo de fêmeas e superestimado no de machos.

A Tabela 4 mostra as estimativas do coeficiente de determinação corrigido (\bar{R}^2), quadrado médio residual e ponto de inflexão por raça, sexo e modelo. Com base nos valores altos de \bar{R}^2 , superiores a 96%, rejeitou-se, ao nível de 1% de probabilidade, a hipótese de que os modelos não se ajustam aos dados.

DISCUSSÃO

Todos os modelos apresentaram facilidades computacionais quanto ao ajuste e, de modo geral, o grau de proximidade entre os valores iniciais e os parâmetros ajustados não influenciou o número de iterações.

A utilização de dados de pesagem não corrigi-

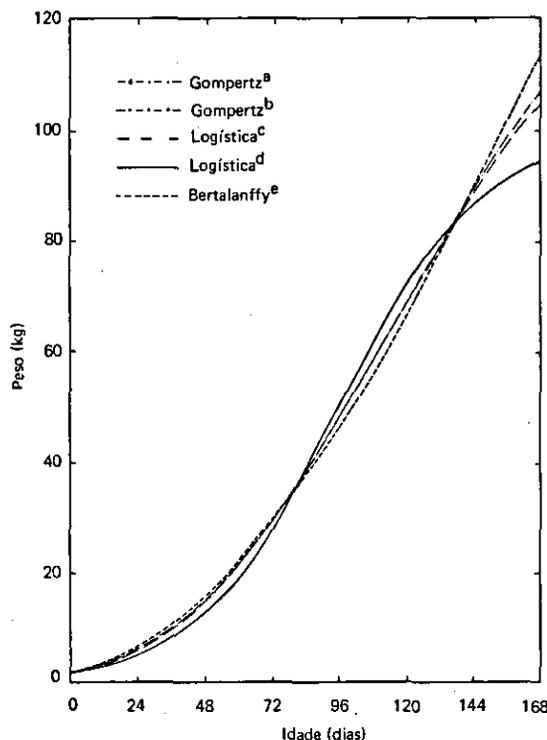


FIG. 2. Curvas de crescimento de suínos Large White machos.

Obs.: a - e: ver Tabela 1.

dos para efeito de anos e de época (quente e fria), possivelmente, não interferiu no comportamento das curvas estimadas, pois o ambiente, muitas vezes, exerce grande influência sobre o peso individual e ganho de peso em um pequeno período. Efeitos compensatórios, porém, tendem a reduzir a discrepância nos dados de peso-idade, principalmente, quando se considera um grande número de animais (Brown et al. 1976).

O comportamento das curvas de crescimento está ilustrado nas Fig. 1 a 4. Independente de raça e de sexo, os modelos Gompertz e o Logístico com ponto de inflexão variável em M apresentaram comportamento semelhante quanto às curvas estimadas, porém, nos pesos ao final do teste, o Logístico apresentou estimativas maiores que os de Gompertz. Dentre os modelos estudados, o de Bertalanffy apresentou estimativas menores, no período de 85 a 140 dias, e estimativas maiores, no intervalo de 140 e 168 dias.

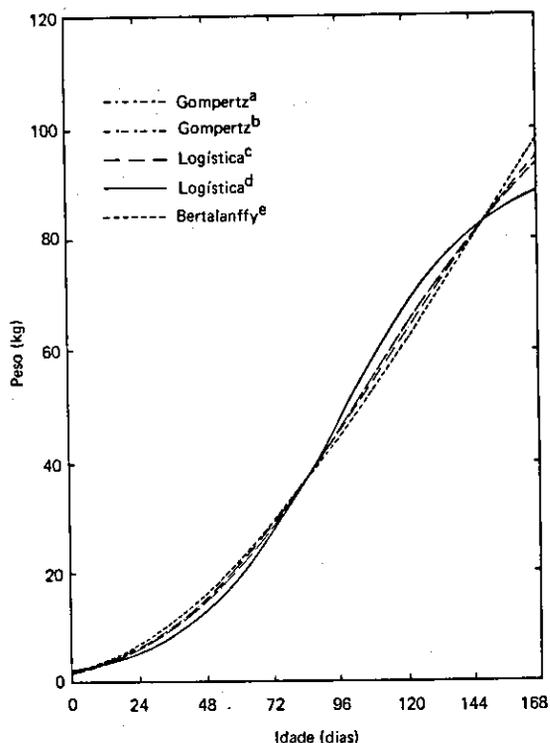


FIG. 3. Curvas de crescimento de suínos Landrace fêmeas.

Obs.: a - e: ver Tabela 1.

Devido ao número insuficiente de pesagens na fase inicial do nascimento a 48 dias, aproximadamente, a interpretação biológica das curvas estimadas ficou prejudicada para este intervalo. Após este período, observa-se que o desenvolvimento pode ser considerado linearmente crescente com a idade. Esta alteração no crescimento, na prática, pode ser associada a uma maior utilização dos alimentos a partir do desmame, devido a uma maior concentração de enzimas digestivas. A literatura sobre a simulação do crescimento de suínos, do nascimento à idade adulta, é bastante escassa; entretanto, os resultados aqui obtidos se assemelham com os relatados por vários autores citados por Robison (1976) para o crescimento após o desmame.

As estimativas da taxa de maturidade (K) para cada função (Tabela 2) foram uniformes dentro de raça e de sexo; entretanto, houve diferenças acentuadas entre essas estimativas para as diferentes funções. Os modelos Gompertz aqui estudados,

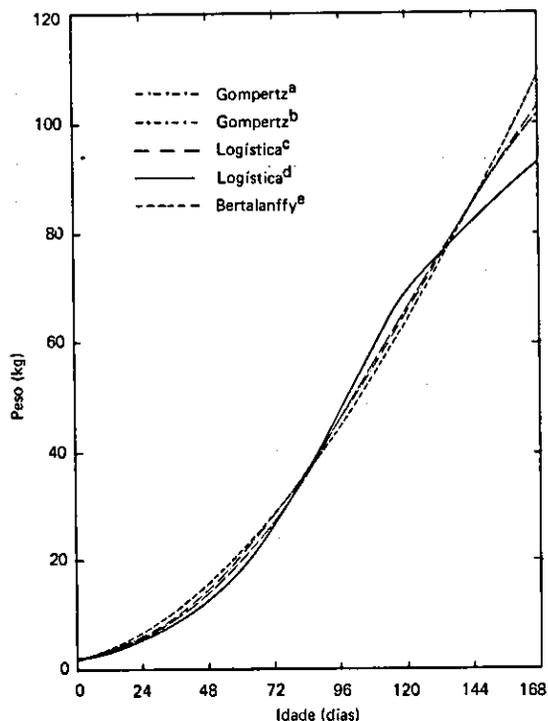


FIG. 4. Curvas de crescimento de suínos Landrace machos.

Obs.: a - e: ver Tabela 1.

embora apresentem diferenças, quanto às expressões analíticas e às estimativas de K, ambos estimam a mesma taxa de maturidade e, em todos os grupos, os resultados obtidos são intermediários em relação aos obtidos com o modelo Bertalanffy e os Logísticos. Exceto o grupo de Landrace fêmea, os modelos Gompertz e o Logístico com ponto de inflexão variável apresentaram um bom ajuste do peso, ao nascer e aos 168 dias (Tabela 3). Em todas as situações, a equação de Bertalanffy subestimou os pesos observados ao crescimento e, exceção para o grupo de Landrace fêmea, superestimou os pesos aos 168 dias.

Em estudos de crescimento de animais através de modelos matemáticos, quando se possui disponibilidade de dados de pesagem do nascimento à maturidade, a assíntota estimada proporciona uma boa indicação para a escolha do modelo. Entretanto, se dados de pesagem não estão disponíveis à idade adulta, essas estimativas podem ser sub

TABELA 2. Estimativas dos parâmetros ajustados por grupo de raça, sexo e função.

Função	A (kg)	B	K (%)	L (%)	m	Y ₀ (kg)
Large white fêmea						
a -	5,0697	4,5143	0,9867	-	-	-
b -	-	-	0,0134	0,0604	-	1,7427
c -	96,1965	-3,7964	0,0393	-	-	-
d -	135,6170	-	0,0173	-	6,2252	-
e -	329,0520	0,8307	0,0056	-	-	-
Large White macho						
a -	5,2041	4,6793	0,9872	-	-	-
b -	-	-	0,0129	0,0604	-	1,6902
c -	99,2933	-3,8736	0,0401	-	-	-
d -	149,4070	-	0,0170	-	6,4159	-
e -	553,7810	0,8585	0,0044	-	-	-
Landrace fêmea						
a -	5,0073	4,4497	0,9866	-	-	-
b -	-	-	0,0135	0,0599	-	1,7464
c -	93,7473	-3,7628	0,0387	-	-	-
d -	128,2720	-	0,0174	-	6,1420	-
e -	311,3470	0,8270	0,0056	-	-	-
Landrace macho						
a -	5,1960	4,6029	0,9876	-	-	-
b -	-	-	0,0125	0,0576	-	1,8095
c -	99,1768	-3,8032	0,0385	-	-	-
d -	148,4980	-	0,0164	-	6,3077	-
e -	521,7040	0,8525	0,0044	-	-	-

a, b = Gompertz

c, d = Logística

e = Bertalanffy

ou superestimadas (Brown, citado por Fitzhugh 1976). No presente estudo, foram utilizados dados de pesagens até a idade de 168 dias e 100 kg; conseqüentemente, a análise das assíntotas apresenta pouca precisão na seleção de modelos. As características das curvas estudadas quanto à taxa de maturidade e as estimativas assintóticas são comparáveis às obtidas por Brown et al. (1976) e Ludwig (1977) em crescimento de bovinos, discordando, porém, dos resultados de Goodnewardene et al. (1981).

Quando as curvas de crescimento são ajustadas com pesos disponíveis, do nascimento à maturidade, o ponto de inflexão constitui um fator de grande importância, devido à sua associação com a ocorrência da puberdade, geralmente atingida, nos grandes animais, a 30% do peso adulto (Walstra 1980). Em suínos, tomando como idade ao primei-

ro cio, a puberdade, geralmente, manifesta-se no período de 144 a 190 dias, com pesos entre 79 e 109 kg (Price et al. 1981). Estes valores são bastante superiores ao ponto de inflexão obtido com os modelos Gompertz e Logísticos (Tabela 4). Tais resultados são compreensíveis, uma vez que, no presente trabalho, foram utilizados dados de pesagens até os 168 dias. Este período não abrange todo o intervalo necessário para uma provável ocorrência do primeiro cio.

Em todos os modelos estudados, o \bar{R}^2 obtido foi superior a 96% indicando, a princípio, que os modelos possuem boas qualidades na descrição de dados de peso-idade de suínos. Entretanto, analisando o comportamento das curvas estimadas quanto à interpretabilidade biológica dos parâmetros, o modelo Logístico com ponto de inflexão variável relativo a M, seguido dos Gompertz, pro-

TABELA 3. Médias observadas e estimadas de peso ao nascer, do peso aos 168 dias e assíntota por grupo de raça, sexo e função.

Função	Peso ao nascer (kg)		Peso aos 168 dias (kg)		Assíntota (kg)
	Estimado	Observado	Estimado	Observado	
			Large White fêmea		
a -	1,74		99,40		159,12
b -	1,74		99,40		159,13
c -	2,11	1,63 ± 0,04	90,89	101,92 ± 0,30	96,20
d -	1,81		97,96		135,62
e -	1,60		102,14		329,05
			Large White macho		
a -	1,69		107,35		182,02
b -	1,69		107,34		182,01
c -	2,02	1,72 ± 0,03	94,15	102,48 ± 0,31	99,29
d -	1,75		104,82		149,41
e -	1,57		113,86		553,78
			Landrace fêmea		
a -	1,75		94,68		149,50
b -	1,75		94,69		149,51
c -	2,13	1,89 ± 0,04	88,27	100,39 ± 0,37	93,75
d -	1,82		93,48		128,27
e -	1,61		97,67		311,35
			Landrace macho		
a -	1,81		103,56		180,54
b -	1,81		103,55		180,52
c -	2,61	1,75 ± 0,03	92,95	102,06 ± 0,28	99,18
d -	1,87		101,60		148,50
e -	1,67		109,51		521,70

a, b = Gompertz

c, d = Logística

e = Bertalanffy

TABELA 4. Estimativas de \bar{R}^2 , quadrado médio residual e ponto de inflexão por grupo de raça, sexo e função.

Função	\bar{R}^2 (%)	Quadrado médio residual	Ponto de inflexão ($Y_1; T_1$)	
			Large White fêmea	
a -	96,60	0,0373	58,54 ; 112,66	
b -	96,60	0,0373	58,55 ; 112,64	
c -	96,06	0,0432	48,10 ; 96,67	
d -	96,57	0,0376	53,65 ; 105,64	
e -	96,43	0,0391	97,50 ; 163,32	
			Large White macho	
a -	98,47	0,0172	66,96 ; 119,53	
b -	98,47	0,0172	66,97 ; 119,54	
c -	97,90	0,0236	49,65 ; 96,53	
d -	98,41	0,0178	58,99 ; 109,52	
e -	98,48	0,0171	164,08 ; 216,18	

TABELA 4. Continuação

Função	R ² (%)	Quadrado médio residual	Ponto de inflexão (Y ₁ ; T ₁)
		Landrace fêmea	
a -	96,79	0,0397	55,00 ; 110,82
b -	96,79	0,0397	55,01 ; 110,81
c -	96,15	0,0404	46,87 ; 97,18
d -	96,73	0,0343	50,79 ; 104,34
e -	96,76	0,0340	92,25 ; 162,02
		Landrace macho	
a -	98,67	0,0140	66,41 ; 122,07
b -	98,67	0,0140	66,40 ; 122,08
c -	98,05	0,0206	49,59 ; 98,79
d -	98,60	0,0148	58,69 ; 111,95
e -	98,73	0,0134	154,58 ; 214,98

a, b = Gompertz

c, d = Logística

e = Bertalanffy

porcionou resultados mais adequados dentro do período estudado.

O modelo Bertalanffy e o Logístico com ponto de inflexão fixo apresentaram valores altos para R², porém mostraram estimativas pobres dos pesos observados ao nascimento e final do teste. Isto indica a inadequabilidade destes modelos para descrever a relação de peso-idade de suínos na fase inicial e final do intervalo estudado (nascimento a 168 dias).

CONCLUSÕES

1. Independente da raça e sexo, o modelo Logístico com ponto de inflexão variável seguido dos Gompertz apresentou características desejáveis no ajuste dos dados de peso-idade de suínos, do nascimento a 168 dias.

2. O modelo Bertalanffy e o Logístico com ponto de inflexão fixo apresentaram estimativas pobres dos pesos observados ao nascimento e ao final do teste.

3. A taxa de maturidade (K), em cada modelo, foi uniforme dentro dos grupos de raça e sexo. O maior valor de K foi obtido com os Logísticos, seguidos dos Gompertz.

4. Todos os modelos apresentaram boas características de ajustamento, em termos de coeficien-

te de determinação, superiores a 0,96. Os valores mais altos foram obtidos com animais machos, não havendo, porém, diferença entre raças.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Associação Catarinense de Criadores de Suínos - ACCS, Concórdia, SC, pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho, e ao Engenheiro-Agrônomo Waldir Pereira Ramos, da ACARESC/ACCS, pela colaboração prestada.

REFERÊNCIAS

- BARR, A.J.; GOODNIGHT, J.H.; SALL, J.P.; BLAIR, W.H. & CHILKO, D.K. SAS user's guide: 1979 edition. Raleigh, SAS Institute Inc., 1979. 495p.
- BROWN, J.E.; FITZHUGH, H.A. & CARTWEIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationship in cattle. *J. Anim. Sci.*, 42(4): 810-8, 1976.
- FITZHUGH, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.*, 42(4): 1036-51, 1976.
- GALLANT, A.R. Nonlinear regression. *Am. Stat.*, 29(2): 73-81, 1975.
- GOODNEWARDENE, R.T.; BERG, R.T. & HARDIN, R. T. A growth study of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 61:1041-48, 1981.
- LUDWIG, A. Ajustamento de curvas exponenciais ao crescimento de gado Nelore e análise de seus parâmetros. Viçosa, MG., UFV, 1977. 84p. Tese Mestrado.

- MISCHAN, M.M. *Análise econométrica de crescimento de gado bovino*. Botucatu, SP., Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, 1972. 141p. Tese Doutorado.
- PRICE, M.A.; AHERNE, F.X.; ELLIOT, J.I. & LODGE, G.A. The effect of age at puberty on growth and carcass quality at market weight in the gilt. *Anim. Prod.*, 33(2):159-64, 1981.
- REN, Y.T. & BECKER, W.A. Growth of body and abdominal fat weights in male broiler chickens. *Poult. Sci.*, 60:1101-06, 1981.
- ROBISON, O.W. Growth patterns in swine. *J. Anim. Sci.*, 42(4):1024-35, 1976.
- SANDLAND, R.L. & MCGILCHRIST, C.A. Stochastic growth analysis. *Biometrics.*, 35(1):255-71, 1979.
- SILVEIRA JUNIOR, P. *Estudo de alguns modelos exponenciais no crescimento de bovinos da raça Ibagé*. Piracicaba, SP., USP, 1976. 174p. Tese Mestrado.
- TAYLOR, J.M. & HAZEL, L.N. The curve of pigs between 134 and 174 days of age. *J. Anim. Sci.*, 14(4):1133-9, 1955.
- ULLREY, D.E.; SPRAGUE, J.I.; BECKER, D.E. & MILLER, E.R. Growth of the swine fetus. *J. Anim. Sci.*, 24(3):711-7, 1965.
- WALSTRA, P. *Growths and carcass composition from birth to maturity in relation to feeding level and sex in dutch Landrace pigs*. Wageningen, H. Veenman & Zonen B.V., 1980. 206p.