

ANÁLISE DA CURVA DE CRESCIMENTO DIFÁSICA DE FÊMEAS HEREFORD POR MEIO DA FUNÇÃO NÃO LINEAR DE GOMPERTZ

PATRICIA NEVES MENDES,¹ JOEL AUGUSTO MUNIZ,² FABYANO FONSECA E SILVA,³
ANA RITA DE ASSUMPÇÃO MAZZINI⁴ E NATASCHA ALMEIDA MARQUES DA SILVA⁵

1. Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Lavras. E-mail:
patyestatistica@yahoo.com.br

2. Professor do Departamento de Estatística, Universidade Federal de Lavras

3. Professor do Departamento de Informática, Setor de Estatística da UFV

4. Professora do Departamento de Estatística, UFPel, Pelotas, RS

5. Aluna do mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária, Departamento de Ciências Exatas Universidade Federal de Lavras

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar modelos Gompertz difásicos ponderados aplicados ao estudo de curvas de crescimento de fêmeas Hereford e modelar a estrutura de erros, inerente a cada modelo. Sendo assim, ajustou-se o modelo de crescimento não linear Gompertz difásico com três diferentes estruturas de erros: erros independentes (EI), autorregressivos de primeira ordem (AR (1)) e autorregressivo de segunda ordem (AR (2)) a dados de peso-idade de 55 fêmeas da raça Hereford avaliados desde o nascimento

até 675 dias de idade. A comparação entre os modelos foi realizada com base na interpretação biológica dos parâmetros e nos avaliadores de qualidade de ajuste (coeficiente de determinação ajustado, teste de Durbin-Watson, desvio-padrão residual, número de iterações) além do critério de informação de Akaike (AIC) e do teste F para comparação de modelos. Todas as funções estudadas, embora tenham mostrado um bom ajuste aos dados, tendem a subestimar o peso adulto do animal.

PALAVRAS-CHAVES: Erros autorregressivos, heterogeneidade de variâncias, modelo não linear.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE DIFASICS GROWTH CURVE OF HEREFORD FEMALES BY THE GOMPERTZ NON-LINEAR FUNCTION

This study had the objective to compare weight difasics Gompertz models applied in the study of Hereford females growth curves and to modeling the errors structure inherent to each model. The non-linear difasic Gompertz growth models were adjusted with three different errors structures: independent errors (IE), first-class auto-regressive (AR (1)) and second-class auto-regressive (AR (2)) to weight-age data of 55 Hereford females, evaluated since birth till 675 days old. The comparison between

the models was carried out through on the biological interpretation basis of the parameters and in the adjustment of quality appraisers (adjusted determination coefficient, Durbin-Watson test, residual standard desviation, iterations number), beyond the Akaike information criteria (AIC) and the F test to model comparison. All studied functions, although showed good data adjustment, tend to sub estimate the adult animal weight.

KEY WORDS: Auto-regressive errors, heterogeneity of variances, non linear model.

INTRODUÇÃO

Dentre as raças de gado de corte europeias criadas no Brasil, destaca-se a raça Hereford, originária da Inglaterra. Suas principais qualidades são a adaptação aos mais diversos ambientes e sistemas de produção, o alto índice de fertilidade, o bom ganho de peso a pasto, alto índice de rendimento de carcaça e precocidade dos animais, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HEREFORD & BRAFORD (2006). Segundo essa mesma fonte, responsável pelo registro dos animais dessa raça no Brasil, o peso mínimo requerido para as novilhas entre 730-912 dias de idade é 320 kg de peso vivo, sendo, portanto, de interesse prático a avaliação longitudinal do peso de fêmeas provenientes dessa raça para a predição da taxa de crescimento e peso adulto.

De acordo com SILVA et al. (2001), os modelos não lineares considerados em estudos de curva de crescimento de bovinos apresentam dois parâmetros interpretáveis biologicamente e um outro que se identifica como uma constante matemática. O parâmetro A, definido como peso assintótico, representa a estimativa de peso à maturidade, independente de flutuações devido a efeitos genéticos e ambientais. Um outro parâmetro, K, corresponde à taxa de maturação e determina a eficiência do crescimento de um animal em direção ao peso adulto. Quanto maior for o valor desse parâmetro, mais precoce é o animal para crescimento e vice-versa. O parâmetro B é denominado parâmetro de integração, e não possui significado biológico (KOENEN & GROEN, 1996).

O estudo de curvas de crescimento em bovinos é atraente, pois os modelos não lineares são bastante flexíveis para se utilizar com dados de peso-idade, uma vez que eles contemplam características inerentes aos seguintes itens: pesagens irregulares no tempo, isto é, o intervalo de duas medidas consecutivas quaisquer não é constante; dependência entre avaliações adjacentes, proporcionando uma estrutura de autocorrelação; resposta dos indivíduos em função do tempo com variância crescente, o que desfaz a suposição de homogeneidade.

BERGAMASCO et al. (2001) utilizaram os modelos Logístico, Brody e Gompertz para a descrição do crescimento de fêmeas da raça Holandesa do nascimento aos dois anos de idade e, apesar de todos eles terem se ajustado bem aos dados, os modelos Logístico e Gompertz apresentaram melhores qualidades de ajuste. Em estudos de crescimento de fêmeas Holandesas e seus cruzamentos, PEROTTO et al. (1992) concluíram que a função logística subestima o parâmetro A (peso adulto), enquanto que a função Brody superestima e as funções Gompertz e Richards apresentam estimativas mais realistas.

MAZZINI et al. (2003, 2005) utilizaram os modelos não lineares no ajuste de curvas de crescimento de machos Hereford, sendo este o primeiro trabalho a utilizar dados de pesagens de machos Hereford criados no Brasil. Neste estudo, o modelo Gompertz apresentou a maior qualidade de ajuste, sendo esta verificada por meio do coeficiente de determinação, erro de predição médio e porcentagem de convergência.

Quando o crescimento apresenta um comportamento característico de forma a identificar ciclos, os quais permitem dividir a curva em várias fases, torna-se necessário adotar modelos de crescimento multifásicos, por contemplarem parâmetros exclusivos para cada fase. Essa situação é muito comum quando se tem um efeito sazonal, o qual, em estudos de curvas de crescimento de bovinos, pode ser caracterizado pela época seca. Na realidade, o que se faz é considerar, em um único modelo, dois ou mais submodelos, cada um com o objetivo de explicar uma determinada fase do crescimento. TORNERO (1996) utilizou modelos multifásicos no estudo do crescimento de vacas Holandesas, e os resultados indicaram que os modelos Logísticos e Gompertz difásicos com estrutura de erros autorregressivos descreveram de forma mais precisa o crescimento dos animais.

O objetivo deste trabalho foi ajustar o modelo Gompertz difásico considerando a heterogeneidade de variâncias e diferentes estruturas de erros a dados de peso-idade de fêmeas Hereford, com o intuito de determinar a melhor forma de descrever as observações longitudinais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho provêm de animais da raça Hereford, fêmeas, nascidos nos anos de 1999 a 2001, na Agropecuária Recreio, situada no município de Bagé, Estado do Rio Grande do Sul. As pesagens consideradas neste estudo foram coletadas de 55 animais, pesados de quinze em quinze dias, desde o nascimento até, aproximadamente, 675 dias de idade.

Os modelos utilizados foram o Gompertz difásico com estrutura de erros independentes, Gompertz difásico com estruturas de erros AR (1) e Gompertz difásico com estruturas de erros AR (2), os quais, segundo TORNERO (1996), são dados, respectivamente, por:

$$Y_t = \exp(A_1 - B_1 K_1^t) + \exp(A_2 - B_2 K_2^t) + e_t,$$

$$Y_t = \exp(A_1 - B_1 K_1^t) + \exp(A_2 - B_2 K_2^t) + e_t + f_1 e_{t-1},$$

$$Y_t = \exp(A_1 - B_1 K_1^t) + \exp(A_2 - B_2 K_2^t) + e_t + f_1 e_{t-1} + f_2 e_{t-2},$$

em que: Y_t é o peso corporal, em kg; t é o tempo, em dias; e^{A_1} e e^{A_2} são as estimativas do peso à maturidade, sendo que o peso adulto do animal é dado pelo somatório das duas assíntotas ($A_1 + A_2$); k_1 e k_2 são as taxas de maturidade; $\frac{\ln(B)}{\ln(K)}$ é a abscissa do ponto de inflexão da curva; e_t é o resíduo no tempo t ; e_{t-1} é o resíduo no tempo $t-1$; e_{t-2} é o resíduo no tempo $t-2$, e os parâmetros f_1 e f_2 correspondem, respectivamente, aos parâmetros de auto-regressão residual de primeira e segunda ordem.

Os ajustes desses modelos foram realizados pelo procedimento *model* do SAS® (1995) utilizando os dados médios e individuais de peso-idade. Utilizou-se este procedimento pelo fato de ele permitir ajustar erros autorregressivos, por meio da macro %AR(y,p), o que não é permitido no procedimento *nlin*, geralmente usado nesses casos. A consideração da heterogeneidade das variâncias foi efetuada por meio de uma ponderação implementada via opção *weight* do *proc model*., utilizando-se como fator de ponderação o inverso das variâncias dos pesos a cada pesagem. As estimativas iniciais, necessárias para a obtenção das estimativas dos parâmetros por meio do processo iterativo, foram obtidas na literatura especializada

(MAZZINI, 2001). Consideraram-se os seguintes avaliadores de qualidade de ajuste: coeficiente de determinação ajustado (R_a^2), desvio-padrão residual (DPR), teste de Durbin-Watson (DW), número de iterações, critério de informação de Akaike (AIC) e o teste F para a comparação de modelos.

As expressões dos avaliadores, segundo MOTULSKY & CHRISTOPOULOS (2003), são dadas por:

$$R_a^2 = \frac{1 - (n - 1)}{(n - p) * (1 - R^2)}, \quad DPR = \sqrt{\frac{QME}{(n - p)}},$$

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n (e_t^2)},$$

$$AIC = \ln \left(S_{k,l}^2 \right) + \frac{2 * (p + 1)}{n}$$

$$F = \frac{(SQR_{(menor)} - SQR_{(maior)}) / (gl_{(menor)} - gl_{(maior)})}{(SQR_{(maior)} / gl_{(maior)})}$$

em que: $R^2 = 1 - (SQR/SQT)$, SQR é a soma de quadrados dos resíduos, SQT é a soma de quadrados total, QME é o quadrado médio residual, n é o número de observações, p é o número de parâmetros no modelo, $S_{k,l}^2$ é a variância dos resíduos, $SQR_{(menor)}$ é a soma de quadrados de resíduos do modelo com menor número de parâmetros; $SQR_{(maior)}$ é a soma de quadrados de resíduos do modelo com maior número de parâmetros; $gl_{(menor)}$ é o grau de liberdade do modelo com menor número de parâmetros; $gl_{(maior)}$ é o grau de liberdade do modelo com maior número de parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os avaliadores da qualidade de ajuste (Tabela 1) indicam que o modelo Gompertz difásico AR (2) apresentou maior R_a^2 e menor DPR. Além disso, foi o único modelo que não mostrou significância na autocorrelação de primeira ordem. Em contrapartida, o ajuste do modelo exigiu maior número de iterações para atingir a convergência. O critério de informação de Akaike (AIC) indicou que, embora o modelo Gompertz difásico AR (2) tenha um maior número de parâmetros, suas estimativas são menos correlacionadas constituindo, portanto,

o melhor modelo. Mesmo resultado foi obtido pelo teste F, na comparação dos modelos aninhados, sendo o modelo mais parametrizado o mais adequado. MAZZINI (2001), no estudo de curvas de crescimento de machos Hereford, obteve altos valores para o R^2_a , todos acima de 0,98. O autor observou também que a utilização da estrutura de erros autorregressivos tende a um melhor ajuste do modelo.

O modelo Gompertz AR (1) foi o mais rápido e eficiente, isto é, não apresentou problemas de convergência. Segundo RATKOWSKY (1983) e SILVA et al. (2002), a convergência mais rápida sempre irá indicar um modelo com comportamento próximo ao linear; já a convergência lenta pode significar que os estimadores são tendenciosos e não apresentam distribuição normal.

TABELA 1. Avaliadores da qualidade do ajuste: número de parâmetros (Nº parms.), coeficiente de determinação ajustado (R^2_a), desvio-padrão residual (DPR), teste de Durbin-Watson (DW), número de iterações (Nº Iter.), critério de informação de Akaike (AIC) e teste F

Modelos	Nº parms.	R^2_a	DPR	DW	Nº Iter.	AIC	F
Gompertz difásico	6	0,9851	0,6138	0,2105*	2179	44,54	-
Gompertz difásico AR (1)	7	0,9972	0,2651	0,3907*	36	-103,57	175,4466**
Gompertz difásico AR (2)	8	0,9993	0,1375	1,5367	20152	-112,00	106,9308**

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

A interpretação do parâmetro A corresponde ao peso adulto do animal. Para se obter o valor dessa estimativa é necessário calcular a exponencial do valor apresentado na tabela e somar os valores de A_1 e A_2 . De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que o modelo Gompertz difásico tende a subestimar o peso adulto das fêmeas Hereford, nas três estruturas de erros consideradas (277 kg, 134 kg e 287 kg, respectivamente para EI, AR(1) e AR(2)). Esses valores estão abaixo de 320 kg, peso mínimo estabelecido pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE HEREFORD E BRAFORD (2006) para fêmeas entre 730-912 dias de idade. Em parte, esse resultado pode ser explicado por dois fatores: a utilização de animais jovens para a convergência do peso assintótico; pela metodologia aplicada. Segundo ELIAS (1998) e MAZZINI (2001), a ponderação e a estrutura de erros autorregressivos reduziram substancialmente os valores estimados para o parâmetro A.

Estudando os machos dessa mesma raça e trabalhando com o modelo Gompertz monofásico, MAZZINI et al. (2003) obtiveram resultados satisfatórios para as estimativas dos parâmetros, ou seja, estimativas coerentes com a realidade da

raça Hereford. Em contrapartida, BROWN et al. (1976) ajustaram cinco funções de crescimento a dados de vacas Hereford e seus cruzamentos com Brahman e observaram que a função Gompertz superestimou o peso nas idades iniciais, enquanto que a função logística subestimou o peso adulto.

Apesar da boa qualidade de ajuste para os três tipos de erros considerados, as estimativas dos parâmetros apresentaram valores incoerentes com a realidade das fêmeas Hereford. Segundo BERGAMASCO et al. (2001), para a obtenção de melhores estimativas deveriam ser feitas mais pesagens em idades acima de 24 meses. Há fatores que podem estar influenciando também a falta de coerência na interpretação biológica, tais como irregularidades nas pesagens dos animais ou número de pesagens e/ou animais insuficientes (LUDWING et al., 1981), gerando estimativas de parâmetros com valores irreais pela falta de uniformidade do crescimento.

Os percentuais de convergência médios, as médias dos QMEs e dos coeficientes de determinação ajustado (R^2_a) para os ajustes individuais da função Gompertz, considerando as três estruturas de erros, são mostrados na Tabela 3. Observa-se que a inclusão de estrutura de erros autorregressi-

vos dificultou a convergência do modelo, resultado concordante com o de MAZZINI (2001) no estudo de machos Hereford. Essa queda no percentual de convergência após a introdução das estruturas de erros AR (1) e, principalmente, AR (2), deve-se ao fato de muitos valores convergirem, porém, para valores fora da realidade biológica, não oferecendo, dessa maneira, uma interpretação

prática. Observa-se ainda que, à medida que uma estrutura de erros mais complexa é considerada, o QME diminui. Resultado semelhante foi obtido por MAZZINI et al. (2003) ao estudarem as curvas de crescimento de machos Hereford. Este fato se deve, provavelmente, à inclusão de mais um parâmetro no processo de estimação.

TABELA 2. Estimativas dos parâmetros e seus respectivos erros-padrões, entre parênteses, para os ajustes dos dados médios

Parâmetros	Estimativas		
	Erros independentes	Erros AR (1)	Erros AR(2)
A_1	4,9990 (0,0293)	4,4096 (0,1613)	2,1060 (0,3260)
B_1	1,6633 (0,0566)	1,0716 (0,1587)	0,9935 (0,1557)
K_1	0,9876 (0,0010)	0,9772 (0,0055)	-0,7911 (0,3598)
A_2	4,8628 (0,1140)	3,9468 (0,3476)	5,6322 (0,2502)
B_2	1,9459 (0,1196)	1,5342 (0,1557)	2,2816 (0,2522)
K_2	0,9839 (0,0042)	0,9728 (0,0092)	0,9948 (0,0014)
f_1		1,0932 (0,0218)	1,9888 (0,0689)
f_2			- 1,0194 (0,0744)

Com relação ao R^2_a , nota-se que, com exceção do modelo Gompertz com estrutura de erros independentes, todos os outros apresentaram um ajuste acima de 95%. A função Gompertz também se ajustou bem aos dados de peso-idade de cordeiros da raça Santa Inês e Bergamácia, com valores para o R^2_a acima de 0,978, num estudo realizado por GUEDES et al. (2004).

TABELA 3. Avaliadores da qualidade para o ajuste das curvas individuais: percentual de convergência (% convergência), quadrado médio do erro (QME) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_a)

Avaliador	Estrutura de erros		
	EI	AR (1)	AR (2)
% Convergência	81,81	69,09	25,46
QME	539,2	104,06	103,25
R^2_a	0,8791	0,9763	0,9757

Na Tabela 4 são mostradas as estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz com as três

estruturas de erros, considerando o ajuste das curvas individuais. Os resultados para a estrutura de erros independentes foram semelhantes aos obtidos no ajuste das curvas médias, subestimando o peso assintótico do animal. Na estrutura de erros autorregressivos de primeira ordem, a função Gompertz superestimou o peso adulto do animal, encontrando valores irreais em sua estimativa. Por fim, introduzindo a estrutura de erros autorregressivos de segunda ordem, observou-se que a estimativa do peso assintótico (366 kg) é coerente com a realidade da raça Hereford, na idade analisada. No estudo de MAZZINI (2001), a introdução da estrutura de erros autorregressiva fez com que o modelo Gompertz subestimasse o peso adulto, principalmente no ajuste com AR (2).

Na Figura 1(a), é possível visualizar o comportamento dos resíduos ao longo do tempo. De acordo com o gráfico, percebe-se claramente a formação de ciclos no decorrer do tempo. Esse problema é causado pela autocorrelação residual existente, não sendo, portanto, este modelo indi-

cado para explicar tais dados, uma vez que ele não atende a uma das principais pressuposições dos modelos não lineares. Comparando-se o comportamento dos resíduos da Figura 1(b) com os da Figura 1(a), percebe-se que a introdução da estrutura de erros AR (1) não contornou o problema da autocorrelação e visualiza-se, ainda, um comportamento cíclico dos resíduos em torno da constante zero. MENDES et al. (2001) também obtiveram resultados indesejáveis para a distribuição dos resíduos da função Gompertz, ao estudarem a curva de crescimento de novilhas Nelore. Na Figura 1(c), observa-se que a introdução de erros autocorrelacionados de ordem 2

produziu uma melhoria no comportamento dos resíduos, apresentando um comportamento mais aleatório em torno da constante zero.

Ainda na Figura 1, observa-se que a função não se ajustou bem aos dados, como já mostrado pelo coeficiente de determinação ajustado (87,91%). Resultado diferente foi obtido por TORNERO (1996), que obteve um ajuste “perfeito” para a função Gompertz difásica, no estudo de crescimento de frangos de corte. As Figuras 1(b) e 1(c) mostram que a introdução da estrutura de autocorrelação nos erros, principalmente a de segunda ordem, produziu uma melhoria na qualidade do ajuste.

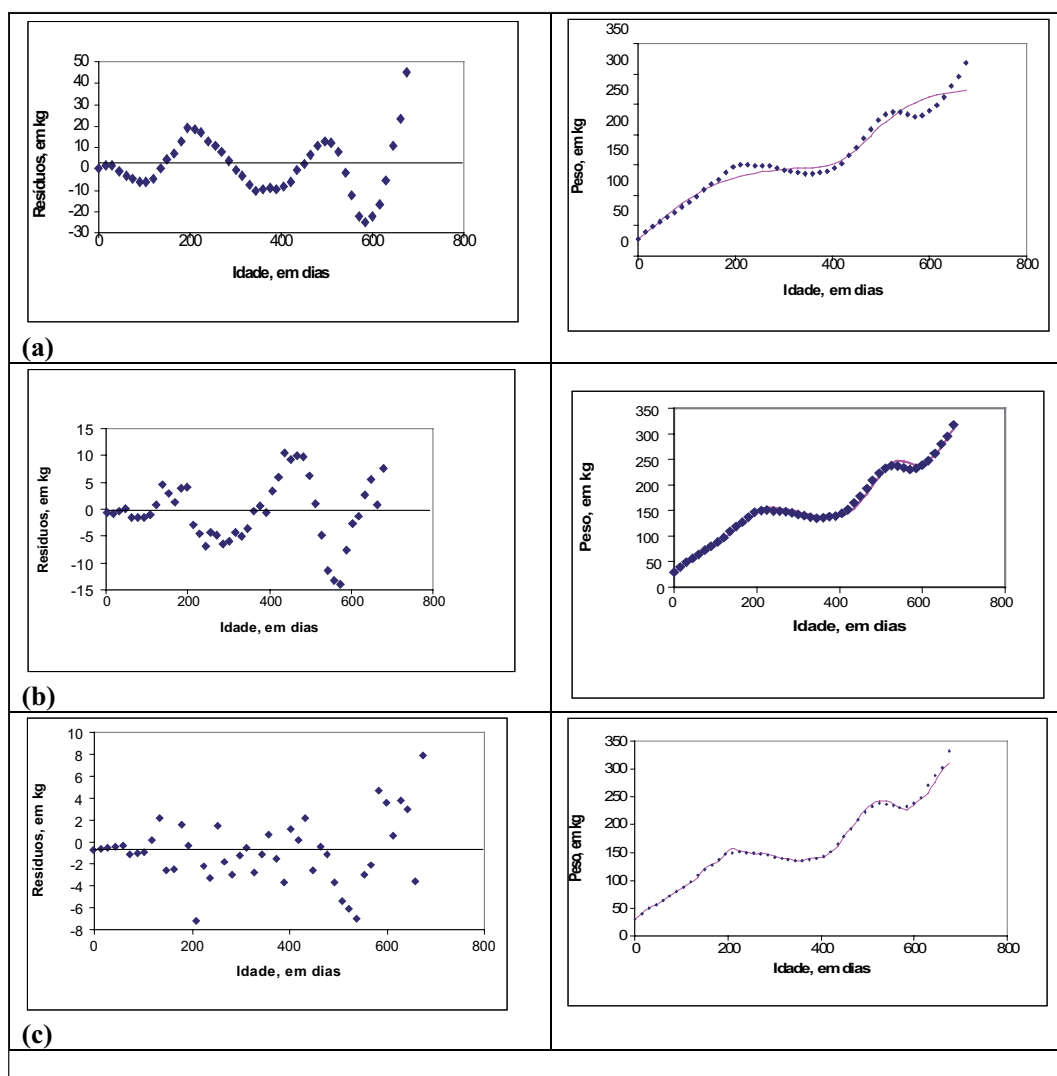


FIGURA 1. Resíduos do modelo Gompertz difásico e ajuste da função Gompertz difásica com estrutura de erros EI (a), AR (1) (b) e AR (2) (c).

TABELA 4. Estimativas dos parâmetros e seus respectivos erros-padrões (entre parênteses), para os ajustes dos dados individuais

Parâmetros	Estimativas		
	Erros independentes	Erros AR (1)	Erros AR (2)
A ₁	4,1700 (0,7900)	44,6200 (17,7300)	5,7715 (0,1176)
B ₁	1,9221 (0,3068)	1,3668 (0,6084)	2,9600 (0,1184)
K ₁	0,9500 (0,0400)	1,0200 (0,0400)	0,9968 (0,0004)
A ₂	4,800 (0,0300)	4,0300 (0,0800)	3,8100 (0,1100)
B ₂	1,9157 (0,2907)	1,8905 (0,8543)	2,0721 (0,8144)
K ₂	0,9400 (0,0300)	0,9700 (0,0100)	0,9550 (0,0171)
f ₁		0,9600 (0,0300)	1,2465 (0,0414)
f ₂			- 0,3176 (0,0373)

CONCLUSÃO

Em geral, todos os modelos se ajustaram bem aos dados, principalmente o Gompertz difásico AR (2) no ajuste das curvas individuais, o qual apresentou melhores avaliadores da qualidade de ajuste e estimativas coerentes com a realidade da raça Hereford. Entretanto, a função Gompertz subestimou o peso adulto dos animais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HEREFORD & BRADFORD. Hereford: carne de qualidade tipo exportação. 2006. Disponível em: <http://www.hereford.com.br/?bW9kdWxvPTEmbWVudT01NiZhc nF1aXZvPWNvbnRldWRvLnBocA>. Acesso em: 10 set. 2006.

BERGAMASCO, A. F.; AQUINO, L. H. de; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F. da. Ajuste de modelos não-lineares a dados de crescimento de fêmeas da raça holandesa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 235-241, abr.-jun. 2001.

BROWN, J. E.; FITZHUGH Jr.; H. A.; CARTWRIGTH, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 810-818, Apr. 1976.

ELIAS, A. M. **Análise de curvas de crescimento de vacas das raças Nelore, Guzará e Gir**. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FREITAS, A. R. de. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 786-795, maio-jun. 2005.

GROSSMAN, M.; KOOPS, W. J. Multiphasic analysis of growth curves in chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 67, n. 1, p. 33-43, 1991.

GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J. A.; PEREZ, J. R. O.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. de; SANTOS, C. L. dos. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar.-abr. 2004.

KOENEN, E. P. C.; GROEN, A. F. Genetic analysis of growth patterns of black and white dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, n. 3, p. 495-501, Mar. 1996.

LUDWING, A.; SILVA, M. de A.; OLIVEIRA, L. M. de. Ajustamento de modelos estatísticos exponenciais ao crescimento de gado Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 297-302, mar. 1981.

MAZZINI, A. R. A. **Análise da curva de crescimento de machos Hereford considerando heterogeneidade de variâncias e autocorrelação dos erros**. 2001. 94 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. **Análise da curva de crescimento de machos Hereford**. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1105-1112, set./out. 2003.

- MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. Curvas de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, mar.-abr. 2005.
- MENDES, P. R.; AQUINO, L. H. de; MUNIZ, J. A. Estudo da curva de crescimento de fêmeas da Raça Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 958-968, jul.-ago. 2001.
- MOTULSKY, H.; CHRISTOPOULOS, A. **Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: a practical guide to curve fitting**. 4. ed. San Diego, CA: GraphPad Software, 2003. 351 p.
- PEROTTO, D.; CUE, R. I.; LEE, A. J. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 773-782, Dec. 1992.
- RATKOWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling: a unified practical approach**. New York: Marcel Dekker, 1983. v. 48, 276 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/ETS User's Guide**. Version 6. 2. ed. Cary : SAS Institute, 1995.
- SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. G. Estimativas de parâmetros genéticos de curva de crescimento de gado Nelore (*Bos indicus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Edição Especial, v. 26, p. 1562-1567, 2002.
- SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. G. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1195-1205, set.-out. 2001.
- TORNERO, M. T. T. **Utilização de modelos assintóticos: sigmóides de crescimento multifásico com sazonalidade em estudos zootécnicos**. 1996. 131f. Tese (Doutorado em Zootecnia/ Nutrição e Produção Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Protocolado em: 31 out. 2007. Aceito em: 26 mar. 2009.