

ESTUDO DAS CURVAS DE CRESCIMENTO DE CORDEIROS DAS RAÇAS SANTA INÊS E BERGAMÁCIA CONSIDERANDO HETEROGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

Growth functions of Santa Inês and Bergamacy lambs considering heteroscedastic variance

Marlon Henrique Paiva Guedes¹, Joel Augusto Muniz², Juan Ramon Olalquiaga Perez³, Fabyano Fonseca e Silva⁴, Luis Henrique de Aquino², Cristiane Leal dos Santos⁵

RESUMO

Funções de crescimento não-lineares foram ajustados a dados de peso-idade de 40 cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia. Pelos testes de Hartley e de Bartlett, verificou-se que os dados apresentavam heterogeneidade de variâncias; em função disso, ajustaram-se as funções de crescimento pelo método dos quadrados mínimos ponderado pelo inverso da variância dos pesos a cada pesagem utilizando a opção WEIGHT do PROC MODEL (SAS INSTITUTE, 1996). As funções de crescimento foram comparadas pela interpretação biológica dos parâmetros e pelos indicadores de qualidade do ajuste (coeficiente de determinação ajustado, quadrado médio do resíduo e teste de Durbin-Watson). As funções de von Bertalanffy e Gompertz apresentaram a melhor qualidade de ajuste, ao passo que as funções de Richards, Logística e Brody não se mostraram adequadas para descrever o crescimento dos animais por apresentarem estimativas não condizentes com a realidade.

Termos para indexação: Curva de crescimento, regressão ponderada, cordeiro.

ABSTRACT

Non linear growth functions were fitted to weight-age data of 40 Santa Inês and Bergamacy lambs. The Hartley and Bartlett tests indicated that the data presented heteroscedastic variance, so the growth functions were fitted through weighted minimum square method by the inverse variance weight in each sampler using the WEIGHT option in PROC MODEL (SAS INSTITUTE, 1996). The functions were compared using the biological interpretation of the parameters and the quality indicators of fit (adjusted determination coefficient, mean square error and Durbin-Watson test). The von Bertalanffy and Gompertz functions provided the best fittings, whereas Richards, Logistic and Brody functions turned out not to be suitable for describing growth behavior, became estimates based on them do not agree with observation.

Index terms: Growth functions, weighted regression, lamb.

(Recebido para publicação em 31 de março de 2003 e aprovado em 8 de setembro de 2003)

INTRODUÇÃO

A ovinocultura representa, no contexto nacional de produção primária, uma atividade de importância econômica e social. No Estado de Minas Gerais, observa-se um número crescente de produtores interessados em iniciar a atividade, a qual apresenta-se como uma promissora alternativa para o pequeno, médio e grande produtor; no entanto, a produção e comercialização de carne de ovinos ainda não se encontra bem organizada. Além de baixa oferta, a maioria dos produtores ainda

não estão conscientes da necessidade de produzir carne de boa qualidade e colocam no mercado carcaças de animais com idade avançada, com péssimas características, dificultando o crescimento do consumo.

Uma alternativa viável seria o abate de animais de maior precocidade, pois esses apresentam rápida deposição de proteínas e baixa taxa de deposição de gordura, proporcionando cortes comerciais de elevada qualidade (SANTOS, 1999). Uma das formas de se avaliar a precocidade é pelo estudo da curva de crescimento,

1. Aluno do 7º período do curso de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Caixa Postal 37 – 37200-000 – Lavras, MG, Bolsista do PIBIC/CNPq.

2. Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas da UFLA.

3. Professor Titular do Departamento de Zootecnia da UFLA.

4. Professor Substituto do Departamento de Ciências Exatas da UFLA.

5. Doutoranda do curso de Zootecnia da UFLA.

pois essa descreve os processos biológicos que ocorrem com o animal em determinadas fases, refletindo as relações de crescimento entre as várias partes do organismo animal até a sua finalização com a maturidade, em situações ambientais distintas.

As curvas de crescimento relacionam o peso de um animal com sua idade, sendo importante para pesquisas e recomendações sobre eficiência de produção (FITZHUGH JÚNIOR, 1976), contribuindo, assim, para aumentar o lucro do produtor. Geralmente estudam-se curvas de crescimento por meio do ajuste de funções não-lineares, pois, dessa maneira, é possível sintetizar informações de todo o período de vida dos animais, ou seja, um conjunto de informações em série de peso por idade, em um pequeno conjunto de parâmetros interpretáveis biologicamente, facilitando, assim, o entendimento do fenômeno (OLIVEIRA et al., 2000).

Segundo Mazzini (2001), as funções mais utilizadas para descrever o crescimento de animais de produção são as de Richards, Gompertz, Brody, Logística e Von Bertalanffy. Essas funções apresentam três parâmetros interpretáveis biologicamente e um outro que se identifica como uma constante matemática. Nas expressões dessas curvas, apresentadas em Material e Métodos, o parâmetro "A", definido como peso assintótico ou peso adulto, representa a estimativa de peso à maturidade. Um outro parâmetro, "k", corresponde ao índice de maturidade ou à estimativa de precocidade de maturidade e determina a eficiência do crescimento de um animal. Quanto maior for o valor desse parâmetro, mais precoce é o animal e vice-versa (BROWN et al., 1976). O parâmetro "M" é denominado de parâmetro de inflexão, e refere-se ao ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento acelerado para uma fase de crescimento inibitório, indicando o ponto a partir do qual o animal passa a crescer com menor eficiência (TEDESCHI, 1996). Na função de Richards, ele é variável, e assume valores fixos nas demais funções, fazendo com que essas apresentem formas definidas; considera-se $M = 1$ na função de Brody, $M = -1$ na Logística, $M = 3$ na de Bertalanffy e $M \rightarrow \infty$ na de Gompertz. O parâmetro b é denominado de parâmetro de integração ou interceptação com o eixo-y, não possui significado biológico, e é utilizado apenas para adequar o valor inicial do peso vivo, fazendo com que a curva passe pela origem quando $y \neq 0$ e/ou $t \neq 0$ (DUARTE, 1975).

Alguns requisitos devem ser seguidos para que uma função de crescimento seja descritiva de uma relação peso-idade (FITZHUGH JÚNIOR, 1976). Entre

eles, destacam-se a interpretação biológica dos parâmetros (confiabilidade), um ajuste com pequenos desvios (precisão) e o grau de dificuldade do ajuste (operacionalidade).

No estudo da curva de crescimento pode ocorrer heterogeneidade das variâncias dos pesos corporais, pois à medida que a idade aumenta, a variância dos pesos corporais também aumenta. A maior parte dos trabalhos que comparam as funções de crescimento não levam em conta essa relação direta entre a variância dos pesos e a idade dos animais.

Pasternak e Shalev (1994) afirmaram que o simples ajuste de regressões não-lineares com o objetivo de estimar os parâmetros da curva de crescimento é ineficiente, uma vez que a variância dos pesos corporais aumenta muito com a idade, ocorrendo, dessa forma, a heterocedasticidade, o que os autores denominam "distúrbios de regressão". Segundo esses autores, quanto mais adultos são os animais, maiores são os desvios e o efeito sobre os parâmetros estimados. Os mesmos autores, avaliando o efeito do caráter "distúrbios de regressão" na eficiência do ajuste da curva de crescimento, concluíram que a regressão não-linear ponderada pelo inverso da variância dos pesos foi a mais eficiente para estimar os parâmetros da curva de crescimento.

Elias (1998) comparou as funções convencionais ajustadas de maneira não-ponderada e ponderada pelo inverso da variância dos pesos (heterogeneidade de variâncias) e verificou que a ponderação melhorou a qualidade dos ajustes e reduziu a variabilidade das estimativas dos parâmetros.

No estudo de ajuste de funções de crescimento, é importante destacar que a forma das curvas podem apresentar variações entre diferentes raças e dentro de uma mesma raça entre o sexo dos animais (SANTOS, 1999). Portanto, torna-se necessário identificar funções de crescimento que melhor se ajustam a determinadas raças.

Dois raças de grande importância no cenário nacional são a Santa Inês e a Bergamácia, sobre as quais não constam estudos publicados de suas curvas de crescimento. A raça Santa Inês é nativa do Nordeste brasileiro e vem demonstrando ser muito promissora para a produção de carne (CORRADELLO, 1988). A raça Bergamácia é originária do norte da Itália e, além da aptidão leiteira, apresenta condições para a produção de carne, considerando que as fêmeas produzem cordeiros de bom peso ao nascer, o que favorece a produtividade (NUNES et al., 1997).

Realizou-se este trabalho com o objetivo de comparar o ajuste ponderado das funções de Richards, Gompertz, Brody, Logística e Von Bertalanffy a dados de peso-idade de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia, para identificar o modelo que melhor descreva o crescimento da espécie, estimando parâmetros úteis na avaliação da precocidade e no manejo dos animais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente estudo são oriundos de experimentos desenvolvidos no Setor de Ovinocultura, Departamento de Zootecnia da UFLA – Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 40 cordeiros machos inteiros, sendo 20 da raça Bergamácia e 20 da raça Santa Inês, nascidos no ano de 1997. Os animais foram desmamados aproximadamente com 40 dias de idade, foram vermifugados e mantidos sob regime de confinamento em gaiolas individuais de estrutura metálica de 1,3 m x 1,0 m, equipadas com cochos e bebedouro, localizadas em galpão de alvenaria. As pesagens foram feitas ao nascimento e a cada duas semanas até os 6 meses de idade, quando os animais foram abatidos com peso entre 35 e 50 kg.

As curvas de crescimento média foram obtidas a partir das médias das idades e dos pesos dos animais a cada pesagem, e as curvas individuais foram obtidas pelas observações de peso-idade de cada animal, utilizando as funções de crescimento não-lineares de Brody, Gompertz, Logística, Richards e von Bertalanffy, cujas equações são dadas, respectivamente, por $y_t = A(1 - b \exp(-k t))$, $y_t = A \exp(-b \exp(-k t))$, $y_t = A/(1 + b \exp(-kt))$, $y_t = A (1 - b \exp(-kt))^M$ e $y_t = A (1 - b \exp(-kt))^3$, em que “y” representa o peso em kg; “t”, a idade em dias; “A” é definido como peso assintótico ou peso adulto; “b”, uma constante de integração; “k” é a taxa de maturidade e “m” é o ponto de inflexão da curva.

Os parâmetros das funções não-lineares de crescimento foram estimados no procedimento MODEL (SAS INSTITUTE, 1995) pelo método dos quadra-

dos mínimos generalizados, que utiliza os processos iterativos de Gauss-Newton e Marquardt. Os valores iniciais para estabelecer a convergência nos dados médios foram fornecidos pela literatura especializada (NUNES et al., 1997), isso foi feito com o objetivo de facilitar a convergência e diminuir o número de iterações. Os valores iniciais para a convergência das curvas individuais foram as estimativas dos parâmetros geradas pelo ajuste das curvas médias.

Para comprovar a ocorrência da heterogeneidade de variâncias, foram aplicados os testes de Hartley (MILLIKEN e JOHNSON, 1992) e Bartlett (SNEDECOR e COCHRAN, 1967), e ambos confirmaram a existência de variâncias heterogêneas.

A heterogeneidade de variâncias constatada propiciou a adoção de um modelo ponderado pelo inverso da variância dos pesos. Para executar a ponderação, foram calculadas as variâncias dos pesos em cada pesagem. O inverso dessas variâncias foi utilizado como fator de ponderação pela opção “WEIGHT” do procedimento MODEL (SAS INSTITUTE, 1996).

O teste de Durbin-Watson foi utilizado para a verificação da existência de autocorrelação de autocorrelação residual, a qual foi também analisada graficamente pela confecção de autocorrelogramas.

As funções de Brody, Gompertz, Logística, Richards e von Bertalanffy foram comparadas quanto ao percentual de convergência, quadrado médio do resíduo (QME), coeficiente de determinação ajustado (R^2_a) e pela interpretação biológica dos parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 observa-se que as variâncias dos pesos não se mantiveram constantes no decorrer do tempo e, portanto, o fator de ponderação considerado foi o recíproco dessas variâncias, ou seja, pesagens que apresentaram maiores variâncias influenciaram menos nas estimativas dos parâmetros dos modelos.

TABELA 1 – Valores médios dos pesos observados, idade e respectivas variâncias no decorrer do tempo para os cordeiros da raça Bergamácia.

Pesagem	Peso (kg)	Idade (dias)	Variância dos pesos (kg ²)	Fator de Ponderação
P1	3,75	0,00	1,40	0,714286
P2	6,84	14,00	3,28	0,304878
P3	12,75	28,00	13,15	0,076046
P4	16,26	42,00	21,01	0,047596
P5	18,46	54,00	21,26	0,047037
P6	21,60	68,00	13,43	0,07446
P7	24,26	82,00	10,28	0,097276
P8	27,92	96,00	14,02	0,071327
P9	33,06	110,00	21,24	0,047081
P10	37,46	124,00	10,64	0,093985

TABELA 2 – Valores médios dos pesos observados, idade e respectivas variâncias no decorrer do tempo para os cordeiros da raça Santa Inês.

Pesagem	Peso (kg)	Idade (dias)	Variância dos pesos (kg ²)	Fator de Ponderação
P1	4,37	0,00	0,17	5,668016
P2	8,00	14,00	0,72	1,380671
P3	13,61	28,00	5,35	0,186648
P4	17,00	42,00	10,55	0,094758
P5	19,78	54,00	12,09	0,082694
P6	24,51	68,00	17,35	0,057635
P7	27,65	82,00	28,31	0,035317
P8	29,86	96,00	32,30	0,030955
P9	34,57	110,00	23,82	0,041975
P10	36,85	124,00	20,28	0,049304

As médias das estimativas individuais e dos indicadores de qualidade do ajuste das funções para as raças Bergamácia e Santa Inês são apresentadas respectivamente pelas Tabelas 3 e 4.

De acordo com as Tabelas 3 e 4, nota-se que em ambas as raças as funções de v. Bertalanffy e Gompertz, respectivamente, foram as que melhor descreveram o cres-

cimento dos animais por apresentarem menores quadrados médios dos resíduos, maiores coeficientes de determinação ajustado e estimativas para os parâmetros condizentes com a realidade, pois são próximas àquelas obtidas por Santos (1999), que obteve os seguintes valores desses parâmetros, respectivamente, para as funções de v. Bertalanffy e Gompertz: 54,47, 0,98 e 0,021; 45,03, 2,25 e 0,018.

Nas duas raças, nota-se que a função Logística subestimou e a de Brody superestimou o peso adulto dos animais, resultado semelhante ao encontrado em muitos outros trabalhos com curvas de crescimento de bovinos (MAZZINI, 2001). A função de Richards apresentou estimativas satisfatórias para os parâmetros na raça Santa Inês, porém, não mostrou boa qualidade de ajuste

para a raça Bergamácia. O teste de Durbin-Watson não foi significativo para nenhuma função, inferindo-se que os resíduos não se apresentavam autocorrelacionados.

As curvas de crescimento obtidas dos modelos de Brody, Gompertz, Logístico, Richards e Bertalanffy estão apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

TABELA 3 – Estimativas médias dos parâmetros no ajuste individual e indicadores da qualidade do ajuste (QME, R_a^2 e Teste de DW) na raça Bergamácia.

Funções	A	b	k	M	QME	R_a^2	DW
Brody	64,19	0,9193	0,0071	---	0,36794	0,9856	1,369
Gompertz	51,30	2,5903	0,0172	---	0,31394	0,9859	1,239
Logística	44,07	9,1837	0,0323	---	0,47348	0,9780	1,102
Richards	74,92	0,4091	0,0111	12,8700	0,79944	0,9562	0,819
v.Bertalanffy	64,07	0,6082	0,0115	---	0,26218	0,9883	1,313

TABELA 4 – Estimativas médias dos parâmetros no ajuste individual e indicadores da qualidade do ajuste (QME, R_a^2 e Teste de DW) na raça Santa Inês.

Funções	A	b	K	M	QME	R_a^2	DW
Brody	65,28	0,9270	0,0057	---	0,31659	0,9855	1,816
Gompertz	43,18	2,2716	0,0218	---	0,21126	0,9884	1,936
Logística	37,24	7,3010	0,0438	---	0,37547	0,9820	1,493
Richards	53,18	0,1241	0,0179	33,7731	1,35534	0,9280	1,196
v.Bertalanffy	51,06	0,5543	0,0149	---	0,19799	0,9896	2,004

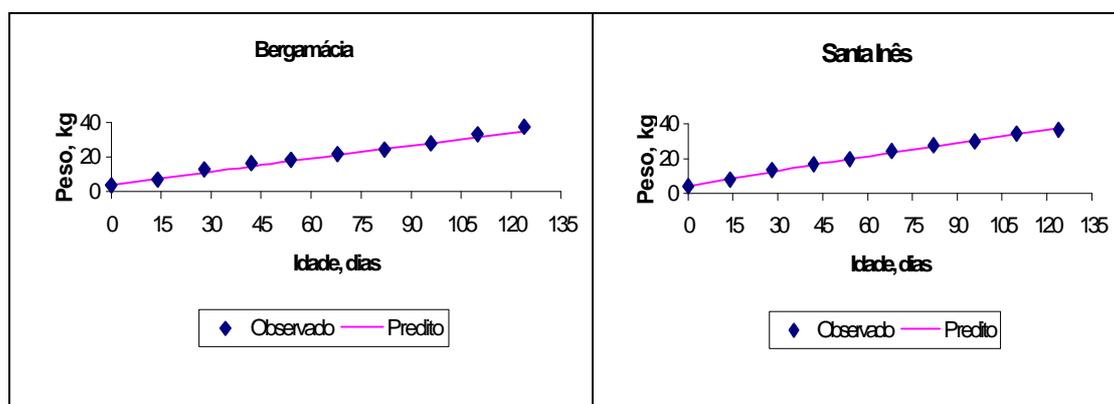


FIGURA 1 – Curvas de crescimento de cordeiros Bergamácia e Santa Inês, modelo de Brody. $R_a^2 = 98,56\%$ e $98,55\%$, respectivamente.

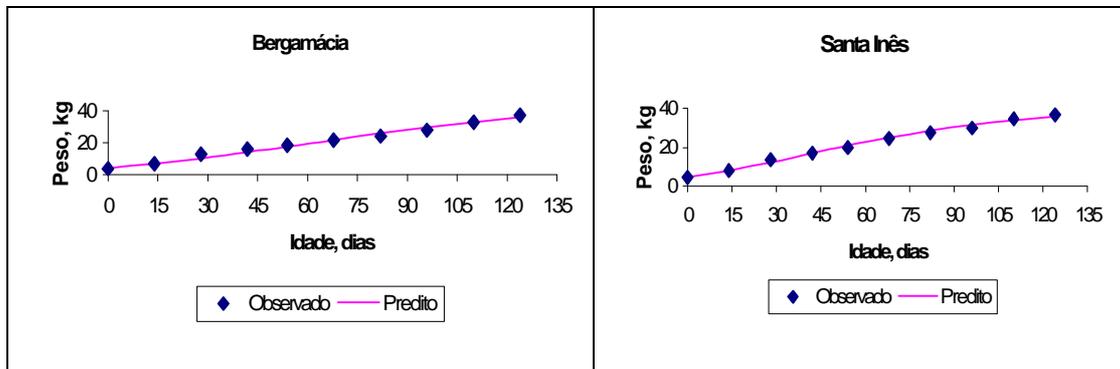


FIGURA 2 – Curvas de crescimento de cordeiros Bergamácia e Santa Inês, modelo de Gompertz. $R_a^2 = 98,59\%$ e $98,84\%$, respectivamente.

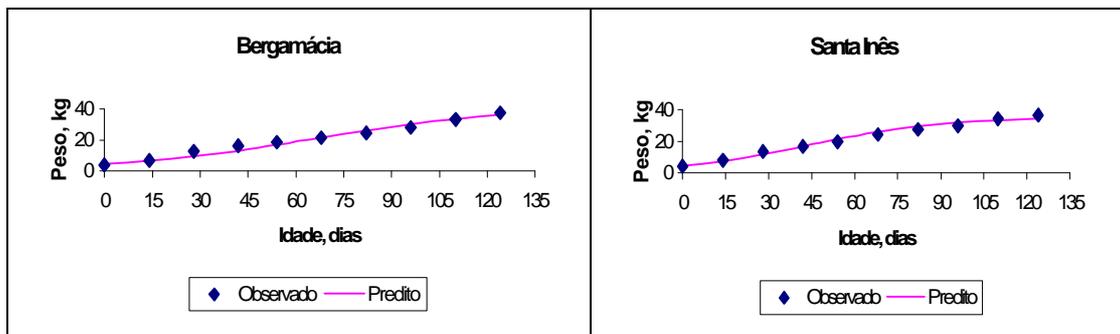


FIGURA 3 – Curvas de crescimento de cordeiros Bergamácia e Santa Inês, modelo Logístico. $R_a^2 = 97,80\%$ e $98,20\%$, respectivamente.

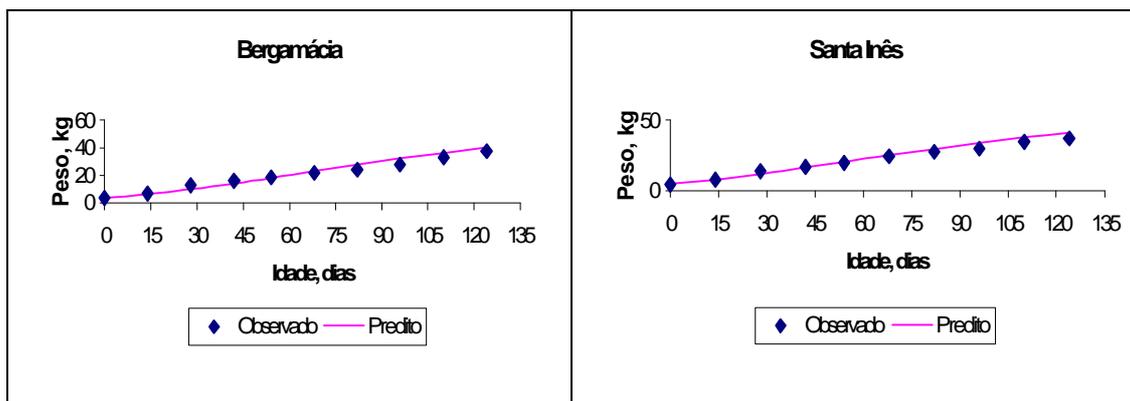


FIGURA 4 – Curvas de crescimento de cordeiros Bergamácia e Santa Inês, modelo de Richards. $R_a^2 = 95,62\%$ e $92,80\%$, respectivamente.

Apesar da linearidade observada nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, decorrente do abate precoce dos animais em análise, o ajuste de modelos não-lineares é válido por permitir uma melhor interpretação do crescimento. Isso se deve ao fato de seus parâmetros condensarem informações importantes como precocidade e peso à maturidade, as quais não seriam possíveis de serem obtidas por um simples ajuste de regressão linear.

Os autocorrelogramas, utilizados na identificação de autocorrelação residual, estão apresentados na Figura 6.

Na Figura 6 evidencia-se a ausência de autocorrelação residual, pois, de acordo Mazzini (2001), quando os valores estimados para o parâmetro de autocorrelação em cada “lag” estão dentro do intervalo-limite, os resíduos são considerados independentes.

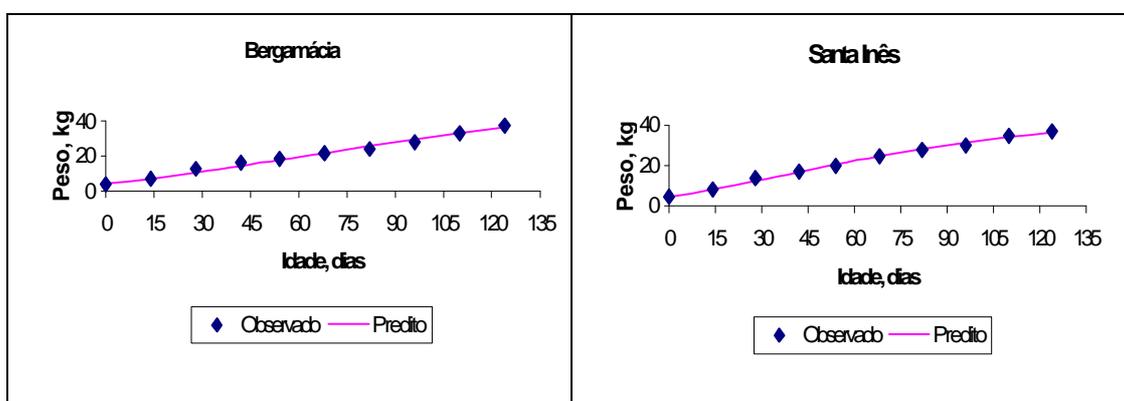


FIGURA 5 – Curvas de crescimento de cordeiros Bergamãcia e Santa Inês, modelo de Von Bertalanffy. $R_a^2 = 98,83\%$ e $98,96\%$, respectivamente.

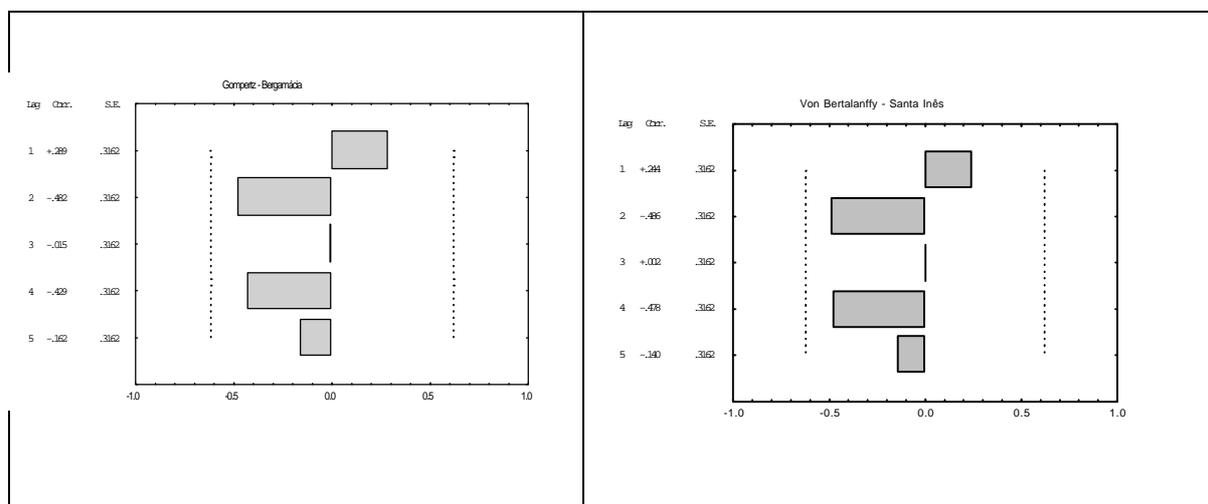


FIGURA 6 – Autocorrelograma dos resíduos provenientes do ajuste da função de Gompertz aos dados de crescimento de cordeiros da raça Bergamãcia e Santa Inês, respectivamente.

CONCLUSÕES

O ajuste ponderado das funções de crescimento foi utilizado devido à constatação da heterogeneidade de variâncias nos dados de peso-idade.

As funções de Von Bertalanffy e Gompertz, apesar do aspecto linear das curvas, foram as que melhor descreveram o crescimento de cordeiros das raças Bergamácia e Santa Inês, por apresentarem um bom ajuste e estimativas condizentes com a realidade.

As funções de Brody, Logística e Richards apresentaram falhas graves, não sendo, portanto, indicadas para esse tipo de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, J. E.; FITZHUGH JÚNIOR, H. A.; CARTWRIGHT, 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.
- CORRADELLO, E. F. A. **Criação de ovinos: antiga e contínua atividade lucrativa**. São Paulo: Ícone, 1988. 124 p.
- DUARTE, F. A. M. **Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos**. 1975. 284 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 1975.
- ELIAS, M. A. **Análise de curvas de crescimento de vacas das raças Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.
- FITZHUGH JÚNIOR, H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, Apr. 1976.
- MAZZINI, A. R. A. **Análise da curva de crescimento de machos Hereford considerando heterogeneidade de variâncias e autocorrelação dos erros**. 2001. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, D. E. **Analysis of messy data**. New York: Chapman & Hall, 1992. v. 1, 473 p.
- NUNES, J. F.; CIRÍACO, A. L. T.; SUASSUNA, U. **Produção e reprodução de caprinos e ovinos**. 2. ed. Ceará: LCR, 1997. 160 p.
- OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, set. 2000.
- PASTERNAK, H.; SHALEV, B. A. The effect of a feature of regression disturbance on the efficiency of fitting growth curves. **Growth, Development & Aging**, Bar Harbor, v. 58, n. 1, p. 33-39, 1994.
- SANTOS, C. L. **Estudo do desempenho, das características da carcaça e do crescimento alo métrico de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia**. 1999. 143 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- SAS INSTITUTE. User's guide: statistics. 5. ed. Cary, 1995. 1290 p.
- SAS INSTITUTE. User's guide: statistics. 6. ed. Cary, 1996.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 2. ed. Iwoa: The Iwoa State University, 1967. 593 p.
- TEDESCHI, L. O. **Determinação dos parâmetros da curva de crescimento de animais da raça Guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação**. 1996. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1996.