

Um novo modelo não linear para descrever curvas de crescimento de ovinos

André Luiz P. Santos^{1†}, Jucarlos R. Freitas², Eucymara F. N. Santos³, Frank S. G. Silva⁴, Cícero Carlos R. Brito⁵, Moacyr C. Filho⁶, Guilherme R. Moreira⁷

¹Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco (DEINFO-UFRPE).

²DEINFO-UFRPE. email: jucarlos123@hotmail.com.

³DEINFO-UFRPE. email: eucymara@gmail.com.

⁴DEINFO-UFRPE. email: franksinatrags@gmail.com.

⁵IFPE. email: cicerocarlosbrito@yahoo.com.br.

⁶DEINFO-UFRPE. email: moacyr2006@gmail.com.

⁷DEINFO-UFRPE. email: guirocham@gmail.com.

Resumo: Neste trabalho, o objetivo foi propor um novo modelo a partir do método proposto por Santos et al. (2018), compará-lo com os modelos não lineares clássicos seguintes, Logístico, Von Bertalanffy, e Gompertz e selecionar o modelo mais adequado ao ajuste das curvas de crescimento em dados de cordeiro da raça Ile de France ao longo dos dias. Para isso, foram utilizados 31 indivíduos em nove momentos distintos, a saber: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método iterativo Gauss-Newton, utilizando-se o procedimento nls do programa computacional R. Os parâmetros estimados foram α (valor assintótico), β e γ (constantes de integração), m responsável pela forma e determinação do ponto de inflexão da curva e k (taxa de maturação). O desvio médio absoluto (DMA) e o quadrado médio do resíduo (QMR), foram utilizados como critérios para a escolha dos modelos que melhor se ajustaram aos dados. Os resultados mostram que o novo modelo é competitivo com os modelos clássicos para descrever as curvas de crescimento dos ovinos da raça Ile de France, por apresentar boa qualidade de ajuste e parâmetros com explicações biológicas de acordo com a metodologia e condições em que foi desenvolvido o presente estudo.

Palavras-chave: Produção Animal; Seleção de Modelos; Taxa de Crescimento.

Abstract: In this work, the objective was to propose a new model based on the method proposed by Santos et al. (2018), to compare it with the following classical nonlinear models, Logistic, Von Bertalanffy, and Gompertz, and to select the most appropriate model to fit the growth curves in Ile de France breed lamb data throughout the days. For this, 31 individuals were used in nine different moments: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days. The parameters of the models were estimated by the iterative Gauss-Newton method, using the technique of the nonlinear models using the nls procedure of the computational program R. The estimated parameters were α (asymptotic value), β and γ (constants of integration), m responsible for the shape and determination of the inflection point of the curve and k (maturation rate) and k (maturation rate). The mean absolute deviation (DMA) and the mean square of the residue (QMR) were used as criteria for choosing the models that best fit the data. The results show that the new model is competitive with the classic models to describe the growth curves of the Ile de France breed sheep, because it presents good quality of adjustment and parameters with biological explanations according to the methodology and conditions in which it was developed present study.

Keywords: Animal production; Selection of Models; Growth rate.

[†]Autor correspondente: andrefensor@hotmail.com.

Introdução

Na criação de ovinos um dos objetivos mais importantes é obter cordeiros com peso adequado e alto rendimento de carcaça em curto período de tempo (TEIXEIRA et al., 2012). O estudo da curva de crescimento para ovinos de corte por meio de modelos não-lineares possibilita avaliar os fatores genéticos e de ambiente de modo que se possa descrever o crescimento do animal ao longo do tempo.

Uma grande vantagem desses modelos é a simplicidade e facilidade na interpretação dos parâmetros, pois em muitas situações, são requeridos menos parâmetros nos modelos não-lineares do que nos lineares. Dentro desse contexto, modelos de regressão não linear têm se mostrado adequados para descrever estas curvas, pois apresentam parâmetros que podem ser interpretados biologicamente (RODRIGUES et al., 2010).

Modelos não-lineares como Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz, são os mais empregados em estudos de desenvolvimento animal (SANTOS et al., 2018). Estas funções têm várias aplicações na área biológica, em especial no crescimento de animais e de plantas.

Realizou-se este trabalho com o objetivo de propor um novo modelo, compará-lo entre os modelos não lineares Logístico, Von Bertalanffy e Gompertz a dados de peso-idade de ovinos da raça Ile de France e identificar aquele que melhor descreva o crescimento da espécie.

Metodologia

Dados

Neste trabalho utilizaremos uma base de dados de crescimento de ovinos, originalmente apresentado no artigo de Falcão et al. (2015). Os autores aplicaram os modelos não lineares Logístico, Brody, Gompertz e Von Bertalanffy a dados de peso de 31 ovinos machos da raça Ile de France criados em confinamento no estado do Paraná, do nascimento até o abate (120 dias de idade), obtidos no período de fevereiro a junho de 2013.

Modelo Proposto

Há pouco tempo Santos et al. (2018) apresentaram os modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e o Gompertz como subcasos do que eles denominaram de método gerador de modelos de crescimento e/ou decrescimento obtidos a partir de equações diferenciais. Assim, o modelo proposto neste trabalho foi desenvolvido a partir deste método gerador. Logo, os modelos não-lineares para descrever as curvas de crescimento foram:

$$\text{Logístico:} \quad y_t = \alpha(1 + e^{-kt})^{-m} + \varepsilon, \quad (1)$$

$$\text{Gompertz:} \quad y_t = \alpha e^{-\beta e^{-kt}} + \varepsilon, \quad (2)$$

$$\text{Von Bertalanffy:} \quad y_t = \alpha(1 - \beta e^{-kt})^3 + \varepsilon, \quad (3)$$

$$\text{Proposto:} \quad y_t = \alpha(1 + \beta e^{-kt^y}) + \varepsilon. \quad (4)$$

em que y_t é o peso do animal, t é a variável independente (idade em dias), α , β , γ , m e k são parâmetros a serem estimados e ε é um erro aditivo. Estes parâmetros são definidos como: α é o peso assintótico, β e γ são constantes de integração, m responsável pela forma e determinação do ponto de inflexão da curva e k é taxa de maturidade. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Gauss Newton modificado por meio do procedimento "nls" do Software livre R versão 3.3.1, (2016).

Análise de resíduo

Algumas considerações estatísticas importantes, normalmente desprezadas na maioria dos estudos de curvas de crescimento, são a heterogeneidade de variância (heterocedasticidade) dos pesos no tempo, decorrentes do aumento da idade, e a existência de autocorrelação entre os resíduos do ajuste, tendo em vista que os dados são tomados longitudinalmente em cada animal (DE ASSUMPCÃO MAZZINI et al, 2005). Se tais considerações são ignoradas no processo de ajuste, pode ocorrer obtenção de estimativas viesadas (PASTERNAK & SHALEV, 1994) e conseqüentemente subestimação das variâncias dos parâmetros (SOUZA, 1998). A análise de resíduos foi feita por meio dos testes: Shapiro-Wilk, para verificar o pressuposto de normalidade residual; Durbin-Watson, para verificar a independência e o teste de Breusch-Pagan, para verificar a homocedasticidade dos resíduos.

Critério para seleção de modelo

Os critérios utilizados para selecionar o modelo que melhor descreveu a curva de crescimento foram: desvio médio absoluto (DMA) e o quadrado médio do resíduo (QMR), calculados pelas seguintes equações:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

$$QMR = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}$$

em que, n é o tamanho da amostra, p é o número de parâmetros livres, y_i é o valor observado e \hat{y}_i é o valor estimado. Quanto menor o valor de DMA e QMR, melhor o ajuste aos dados reais.

Resultados e discussão

As curvas de crescimento obtidos a partir dos dados observadas e ajustadas de ovinos da raça Ile de France para os quatro modelos podem ser vistas na Figura 1.

Na Tabela 1, apresentam-se os resultados da análise de resíduos para os modelos ajustados aos dados de ovinos da raça Ile de France. Todos os pressupostos sobre os resíduos foram atendidos (p -valor $> 0,05$), ou seja, percebe-se que, em todas as situações estudadas, os resíduos estimados apresentaram distribuição normal, independência e homocedasticidade.

As estimativas dos parâmetros em cada modelo (Tabela 2) foram todas significativas aos níveis de 5%, ou seja, todos os modelos podem ser utilizados para estimativas de crescimento de cordeiros. Entretanto, critérios para selecionar a melhor função de crescimento têm sido utilizados

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 1-7, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

em diversos trabalhos (GOMES DA SILVEIRA et al., 2011). A significância dos parâmetros também pode ser determinada através do intervalo de confiança assintótico ao nível de 95%.

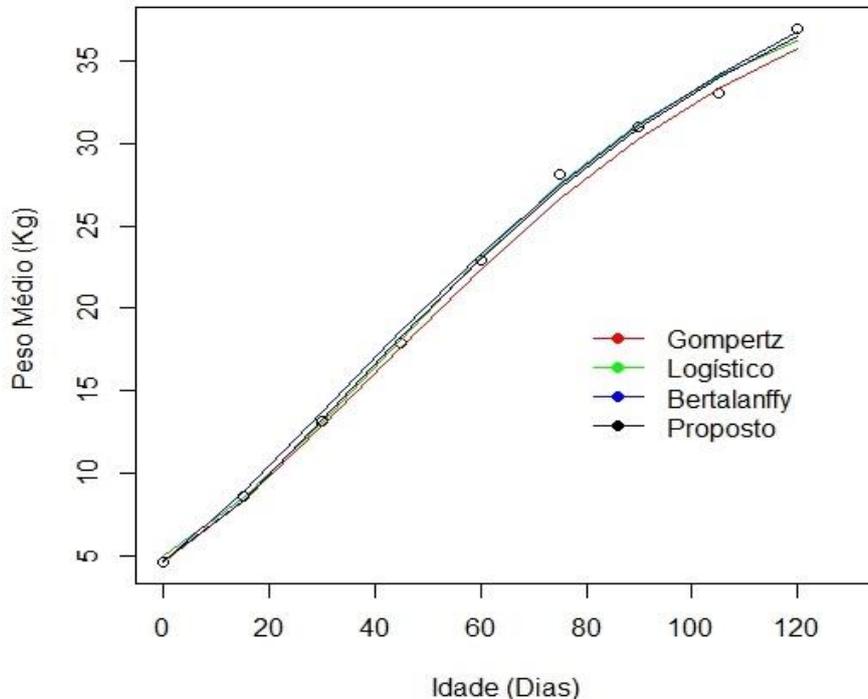


Figura 1: Estimativa do peso em função da idade, ajustado pelos modelos Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e proposto em ovinos da raça Ile de France

Tabela 1 – Valores das estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan, com os respectivos p-valor, aplicados aos resíduos do modelo Proposto, Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy

Modelos	Shapiro-Wilk	p-valor	Durbin-Watson	p-valor	Breusch-Pagan	p-valor
Proposto	0,9719	0,9109	2,3796	0,5668	2,1004	0,1473
Logístico	0,9159	0,3601	2,4185	0,5923	3,4713	0,0615
Gompertz	0,9379	0,5601	2,4239	0,5958	3,3539	0,0671
Von Bertalanffy	0,9759	0,9405	2,1198	0,3970	1,6822	0,1946

O parâmetro α (Tabela 2) representa a estimativa do peso assintótico, que é interpretado como peso adulto. Esse peso não é o máximo que o animal atinge, e sim o peso médio à maturidade livre das variações sazonais (BROWN et al., 1976). As estimativas do parâmetro α na raça Ile de France foi maior para o modelo Von Bertalanffy (47,93) seguido dos modelos Proposto (45,07), Gompertz (43,74) e logístico (41,31). Estes resultados foram maiores comparados aos estimados em

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 1-7, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

ovinos da raça Santa Inês em que, o peso assintótico α para os modelos Brody, Von Bertalanffy e Gompertz alcançou valores de 31,30; 29,80 e 29,38, respectivamente. Contudo, o parâmetro α foi muito próximo se comparado ao do estudo de Moreira et al. (2016) com fêmeas da raça Ile de France, em que obtiveram os seguintes resultados: modelos Brody (56,34), Von Bertalanffy (47,28), Gompertz (45,43) e Logístico (44,16).

Animais com alto valor de estimativas de k apresentam maturidade precoce, em comparação aqueles de baixo valor de estimativas de k e peso inicial similar (MALHADO et al., 2009). Com relação a este parâmetro, a estimativa do modelo Logístico (0,03) foi superior à dos modelos Gompertz (0,02), Von Bertalanffy (0,02) e Proposto (0,002). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Moreira et al. (2016) em fêmeas da raça Ile de France com valores de 0,01; 0,02 e 0,02 para os modelos Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz, respectivamente. Já no estudo de Souza et al. (2011) este parâmetro resultou em estimativas menores para o modelo Von Bertalanffy (0,009), Gompertz (0,011) e para o Logístico (0,013).

Com base nas medidas QMR e DMA (Tabelas 2), observou-se que todos os modelos de curva de crescimento tiveram ajustes razoáveis. Para a estatística QMR o modelo Gompertz obteve o menor valor seguido pelos modelos Logístico, Von Bertalanffy e Proposto a saber: 0,33; 0,36; 0,38 e 0,42, respectivamente. Ainda, nota-se que a DMA foi menor para o modelo Proposto em comparação aos modelos Von Bertalanffy e Logístico.

Tabela 2 – Estimativas de peso assintótico (α), maturidade do animal ao nascimento (β e γ), m responsável pela forma e determinação do ponto de inflexão da curva, taxa de maturação (k), Intervalo de Confiança (Int. C.) e indicadores sugeridos como critérios de comparação da qualidade de ajuste, erro padrão (erro p.) e quadrado médio do resíduo (QMR)

Modelos	Parâmetros	Estimativas	Int. C.	erro p.	DMA	QMR
Logístico	α	41,31	(38,44;45,33)	1,34	0,39	0,36
	m	3,05	(2,83;3,31)	0,10		
	k	0,03	(0,02;0,03)	0,002		
Gompertz	α	43,74	(40,22;48,83)	1,68	0,32	0,33
	β	2,23	(2,08;2,40)	0,07		
	k	0,02	(0,01;0,02)	0,001		
Von Bertalanffy	α	47,93	(42,75;56,33)	2,62	0,38	0,38
	β	0,54	(0,52;0,58)	0,01		
	k	0,02	(0,01;0,02)	0,001		
Proposto	α	45,07	(38,02;57,56)	4,85	0,36	0,42
	β	-0,89	(-0,95;-0,84)	0,02		
	k	0,002	(0,000;0,005)	0,01		
	γ	1,35	(1,00;1,70)	0,13		

Poucos trabalhos foram encontrados na literatura com referência a estudos da curva de crescimento de cordeiro da raça Ile de France. Entretanto, observou-se grande variação na escolha dos modelos que melhor ajustaram a curva de crescimento em ovinos. Ao comparar diversos modelos em dados de cordeiros, Guedes et al. (2004), Sarmiento et al. (2006), Moreira et al. (2016), encontraram seus melhores ajustes por meio dos modelos Von Bertalanffy, Gompertz e Von Bertalanffy, respectivamente. Segundo Sarmiento et al. (2006) essa diferença quanto aos modelos

ajustados é subjetivamente compreensível, pois irá depender do padrão de crescimento dos animais em estudo.

Conclusão

Nas condições do presente estudo, e de acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que os modelos não lineares, Proposto, Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy são indicados para descrever curvas de crescimento de ovinos machos da raça Ile de France.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Referências Bibliográficas

BROW, J.E.; FITZHUGH JUNIOR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C.A. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*, v.42, p.810-818, 1976.

DE ASSUMPÇÃO MAZZINI, A R.; MUNIZ, J. A.; FONSECA, F.; de AQUINO, L. H. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. *Ciência Rural*, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

FALCÃO, P. F.; PEDROSA, V. B.; MOREIRA, R. P., SIEKLIKI, M. D. F.; ROCHA, C. G.; SANTOS, I. C.; FERREIRA, E. M.; MARTINS, A. S. Curvas de crescimento de cordeiros da raça Ile de France criados em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 16, n. 2, 2015.

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

MALHADO, C.H.M.; CARNEIRO, P.L.S.; AFFONSO, P.R.A.M.; SOUZA JR, A. A. O.; SARMENTO, J. L. R. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. *Small Ruminant Research*, v.84, p.16-21, 2009.

MOREIRA, R. P.; BRENO PEDROSA, V.; FALCÃO, P. R.; SIEKLIKI, M. D. F.; GOMES ROCHA, C.; CORDEIRO DOS SANTOS, I.; FERREIRA, E. M.; de SOUZA MARTINS, A. Growth curves for Ile de France female sheep raised in feedlot. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 1, 2016.

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.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 1-7, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. URL <http://www.R-project.org>

RODRIGUES, A.; CHAVES, L. M.; SILVA, F. F.; ZEVIANI, W. Utilização da regressão isotônica em estudos de curvas de crescimento. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 28, n. 4, p. 85-101, 2010.

SANTOS, A. L. P.; MOREIRA, G. R.; De BRITO, C. C. R.; GOMES-SILVA, F., DA COSTA, M. L. L.; PIMENTEL, P. G.; FILHO, M. C.; MIZUBUTI, I. Y. (2018). Method to generate growth and degrowth models obtained from differential equations applied to agrarian sciences. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 6, p. 2659-2672, 2018.

SARMENTO, J.L.R; REGAZZI, A.J.; SOUSA, W.H.; TORRES, R.A.; BREDAS, F.C.; MENEZES, G.R.O. Estudo de Curvas de Crescimento de ovinos Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n.2, p.435-444, 2006.

SILVEIRA, F. G.; FONSECA, F.; CARNEIRO, S. P. L. S.; MALHADO, C. H. M.; MUNIZ, J. A. Análise de agrupamento na seleção de modelos de regressão não-lineares para curvas de crescimento de ovinos cruzados. *Ciência Rural*, v. 41, n. 4, 2011.

SOUZA, G. da S. Introdução aos modelos de regressão linear e não linear. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-SEA, 1998. 489p.

TEIXEIRA, M. C.; VILLARROEL, A. B.; PEREIRA, E. S.; de OLIVEIRA, S. M. P.; ALBUQUERQUE, Í. A.; MIZUBUTI, I. Y. Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 5, p. 2011-

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 1-7, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).