

Modelos não paramétricos para ajustes de curva de crescimento em caprinos Sem Raça Definida (SRD)

Non-parametric models for growth curve adjustments in NDB Goats

Diego Helcias Cavalcante^[a], José Elivalto Guimarães Campelo^[b], Severino Cavalcante de Sousa Júnior^[c], Giotto Ghiarone Tertio e Sousa^[d], Johnny Iglesias Mendes Araújo^[e], André Campêlo Araújo^[e], Weverton José Lima Fonseca^[e], Cícero Pereira Barros Junior^[e], Adriana Mello de Araújo^[f]

^[a] Médico veterinário, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, PI - Brasil, e-mail: diegohelcias@hotmail.com

^[b] Engenheiro agrônomo, Doutor em Zootecnia, professor associado no Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, PI - Brasil, e-mail: elivalto@ufpi.br

^[c] Zootecnista, Doutor em Zootecnia, professor adjunto no Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus, PI - Brasil, e-mail: sevzoo@yahoo.com.br

^[d] Zootecnista, Mestre em Ciência Animal, professor do Departamento de Zootecnia, Instituto de Ensino Superior Múltiplo (IESM), Timon, MA - Brasil, e-mail: giotozootec@yahoo.com.br

^[e] Graduandos em Zootecnia, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus, PI - Brasil, e-mails: johnny-iglesias@hotmail.com; andrefuturo7@hotmail.com; wevertonsbz@yahoo.com; cicerozoot@hotmail.com

^[f] Zootecnista, Doutora em Genética e Melhoramento, pesquisadora da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI - Brasil, e-mail: adriana.araujo@embrapa.br

Resumo

Os pesos obtidos ao longo da vida do animal são correlacionados entre si, pois os genes que influenciam o peso em determinada idade podem influenciá-lo em idades subsequentes (pleiotropia), além da variância do peso em função da idade, que é crescente. Uma alternativa de análise para dados dessa natureza é recorrer ao ajuste de curvas de crescimento por meio de modelos não lineares para minimizar erros. Objetivou-se avaliar modelos não lineares para descrever o crescimento de caprinos SRD (Sem Raça Definida), criados extensivamente no semiárido do Piauí (PI). Foram utilizadas 25 pesagens semanais de cada animal, do nascimento aos 185 dias de idade. Para estimar o crescimento em função dos dados de peso-idade, utilizaram-se os modelos não lineares de Von Bertalanffy e Logístico. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Gauss Newton, por meio do procedimento NLIN do SAS. Para a análise do modelo mais adequado considerou-se o quadrado médio do resíduo (QMR), o coeficiente de determinação (R^2), o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) e a estatística de Durbin Watson (DW). O modelo de Von Bertalanffy apresentou melhor qualidade de ajuste com base no DMA e DW, enquanto o modelo Logístico apresentou melhor ajuste levando-se em conta o QMR e o R^2 .

Palavras-chave: Bertalanffy. Logístico. Modelos não lineares.



Abstract

The body weight obtained over different stages of the animal life are correlated, since genes that influence the weight at a given age can influence it in subsequent ages (pleiotropy), and the variance of the weight depends on the age. Alternatively, these data can be analyzed through nonlinear models using adjusted growth curves to minimize errors. The aim of this was to evaluate nonlinear models that describe the growth of NDB (non-defined breed) goats raised extensively in the semiarid region of Piauí. Animal weight was measured weekly 25 times, from birth to 185 days of age. Nonlinear models of von Bertalanffy and Logistic were used to estimate the growth in function of the weight-age data. Model parameters were calculated by the Gauss Newton method using the NLIN procedure of SAS. In order to analyze most appropriate model, it was considered following parameters: mean square of residuals (MSR), coefficient of determination (R^2), average absolute deviation of residuals (AAD) and the Durbin Watson statistics (DW). The Von Bertalanffy model showed a better adjustment based on DMA and DW, while the logistic model presented a better fit when based on the MS and R^2 .

Keywords: Bertalanffy. Logistics. Nonlinear models.

Introdução

No nordeste Brasileiro a criação de caprinos é uma importante atividade socioeconômica na produção de carne e de leite. Por esse motivo crescem também as demandas por melhores produtos, contribuindo assim com grandes mudanças nas criações dos rebanhos. Os modelos não lineares como o de Brody (BRODY, 1945), de Von Bertalanffy (VON BERTALANFFY, 1957), de Richards (RICHARDS, 1959), de Logístico (NELDER, 1961) e o de Gompertz (LAIRD, 1965) são os mais empregados em estudos de desenvolvimento ponderal. No entanto é possível condensar grande volume de informação em um pequeno conjunto de parâmetros que podem ser interpretados biologicamente. A associação desses parâmetros às características produtivas e reprodutivas dos animais é uma boa ferramenta a ser utilizada em um programa de melhoramento genético (ROSA et al., 1979). Os objetivos principais do ajuste de curvas de crescimento são descrever e prever o crescimento e fazer inferências com base nas interpretações dos parâmetros (RATKOSWSKY, 1983).

De acordo com Tedeschi et al. (2000), o conhecimento e o controle do crescimento e desenvolvimento dos ruminantes são tópicos de bastante interesse para os pesquisadores, pois o seu domínio permite que o manejo nutricional dos animais possa ser conduzido eficientemente, além de permitir que programas de seleção animal sejam elaborados para as características de crescimento inerentes a cada raça.

Entretanto estuda-se curvas de crescimento por meio de ajustes de funções não lineares, que possibilitam sintetizar informações de todo o período de vida dos animais em um pequeno conjunto de parâmetros matemáticos com interpretação biológica, facilitando, assim, o entendimento do fenômeno (OLIVEIRA; LÔBO; PEREIRA, 2000). Kaps, Herring e Lamberson (2000) e Arango e Van Vleck (2002) ressaltaram que é necessário considerar características de crescimento e maturidade derivadas do estudo de curvas de crescimento, como informação adicional em programas de melhoramento genético. Tradicionalmente, o ajuste dos modelos não lineares é feito por meio do procedimento NLIN do SAS (SAS, 2001).

De acordo com Freitas (2005), entre as várias aplicações das curvas de crescimento na produção animal, destacam-se: resumir, em três ou quatro parâmetros, as características de crescimento da população, pois alguns parâmetros dos modelos não lineares utilizados possuem interpretação biológica; avaliar o perfil de resposta de tratamento ao longo do tempo; estudar interações de respostas das subpopulações ou tratamentos com o tempo e identificar, em uma população, os animais mais pesados e os mais jovens. O peso é uma característica de crescimento bastante usada em critérios de seleção de programas, no qual se avalia o mesmo em diferentes idades (MELLO et al., 2006).

O melhor modelo a ser utilizado é aquele que melhor se adapta e apresenta resultados mais adequados ao caso de estudo. A determinação de

modelos adequados para descrição do crescimento de caprinos pode auxiliar no processo de seleção e consiste em uma importante ferramenta para o melhoramento dessa espécie. O objetivo do presente trabalho foi ajustar aos dados peso-idade de caprinos SRD, modelos não lineares tradicionalmente usados na produção animal como os de Von Bertalanffy e Logístico, com base nos valores de QMR, R^2 , DMA e DW.

Materiais e métodos

Nesta pesquisa foram analisados dados de 23 caprinos SRD, criados na comunidade Santiago, no município de Simplício Mendes (PI). As condições climáticas do município apresentam temperaturas mínimas de 22 °C e máximas de 36 °C, com clima semiúmido e quente. Os animais foram confinados sob o sistema de *creep-feeding* e suplementados com silagem de milho até o desmame (60 dias). Os dados de peso foram registrados semanalmente aos 0, 9, 16, 24, 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108, 115, 122, 129, 136, 143, 150, 157, 171, 185 dias ao nascer. Obtidos no período de maio a novembro de 2009, totalizando 575 informações.

Foram utilizados os modelos não lineares Von Bertalanffy e Logístico para estimar o crescimento individual dos animais em função dos dados de peso-idade, cujas funções de derivação estão apresentadas no Quadro 1. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Gauss Newton, por meio do procedimento NLIN do SAS (SAS, 2001), sendo **A** (peso assintótico) quando **t** tende ao infinito; **B** (uma constante de integração), na qual relaciona os pesos iniciais do animal e sem interpretação biológica bem definida; e **K**

(taxa de maturação) que deve ser compreendida como a mudança de peso em relação à maturidade, ou seja, um indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho na fase adulta (McMANUS et al., 2003; GUEDES et al., 2004; SARMENTO et al., 2006).

Os critérios utilizados para indicação do modelo que melhor descreveu a curva de crescimento no presente trabalho foram: a) Quadrado médio do resíduo (QMR), calculado dividindo-se a soma de quadrados do resíduo pelo número de observações. É o estimador de máxima verossimilhança da variância residual; b) Coeficiente de determinação (R^2) calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados, que é equivalente a $1 - \frac{SQR}{SQT_c}$ em que SQR é soma de quadrados do resíduo e SQT_c a soma de quadrados total corrigida pela média; c) Desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) – estatística que avalia a qualidade de ajuste calculada como a seguir: quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste (SARMENTO et al., 2006); d) Teste de Durbin-Watson (DW), em que o valor da estatística DW de Durbin-Watson é obtido por meio da opção CLM da declaração MODEL do procedimento GLM (SAS, 2001). O valor de DW é calculado pela fórmula:

$$dw = \frac{\sum_{i=2}^n |E_i - E_{i-1}|^2}{\sum_{i=1}^n E_1^2}$$

Em que:

dw: estatística de Durbin-Watson;

E_i : erro estocástico que é igual a $Y_i - \hat{Y}_i$;

n: número de observações;

\hat{Y}_i : valor estimado; e Y_i : valor observado.

Quadro 1 - Modelos não lineares testados e suas respectivas derivadas

Modelo ¹	Equação	$\partial y / \partial x$	$\partial y / \partial a$	$\partial y / \partial b$	$\partial y / \partial c$
Logístico	$y = \frac{a}{1 + e^{-b-kx}}$	$\frac{ake^{b-kx}}{(1 + e^{-b-kx})^2}$	$\frac{1}{1 + e^{-b-kx}}$	$\frac{-ae^{-b-kx}}{(1 + e^{-b-kx})^2}$	$\frac{axe^{b-kx}}{(1 + e^{-b-kx})^2}$
Bertalanffy	$y = a(1 - bc_1)^3$	$3abkc_1(1 - bc_1)^2$	$(1 - bc_1)^3$	$-3ac_1(1 - bc_1)^2$	$3abx(1 - bc_1)^2 c_1$

Legenda: $c_1 = \exp(-cx)$; y = variável dependente (peso corporal); a, b, k = parâmetros das equações; x = tempo em dia; e = base do logaritmo neperiano.

Nota: ¹ Adaptado de Sit e Poulin-Costello (1994).

Fonte: Dados da pesquisa.

É esperado que o valor da estatística DW seja aproximadamente igual a dois, se os resíduos forem independentes. Caso contrário, se os resíduos forem correlacionados positivamente, tenderá a ser próximo o valor de 0 (zero), ou de 4(quatro), caso correlacionados negativamente.

Resultados

Observou-se que os animais avaliados apresentaram peso corporal ao nascer em torno de 2 kg e aos seis meses em torno de 17 kg, faixa de idade na qual provavelmente o crescimento é mais intenso. Com base no

desvio-padrão do peso em função da idade vale salientar que a resposta de crescimento dos animais apresentou variância crescente apresentado na Tabela 1.

As estimativas da média de peso corporal em relação à idade, acompanhadas dos erros-padrão e os coeficientes de variação de caprinos SRD, estão apresentados na Tabela 1.

Na Tabela 1, observa-se evidente que o crescimento dos animais nos primeiros seis meses de vida indicou a tendência de comportamento linear no período. Porém, no decorrer do estudo, foi feita uma análise mais aplicada da forma de crescimento desses animais, recorrendo-se a modelos

Tabela 1 - Médias, erros-padrão (EP) e coeficientes de variação (CV), de peso de caprinos Sem Raça Definida em uma região do Piauí, Brasil

Idade (dias)	Média (kg)	EP	CV(%)
0	1,9913	0,0609	14,6733
9	2,7261	0,1243	21,8763
16	3,6870	0,1589	20,6771
24	4,4870	0,2456	26,2526
31	4,9609	0,2755	26,6367
38	5,1609	0,3007	27,9498
45	5,6565	0,4540	38,4960
52	6,2000	0,4580	35,4272
59	6,6957	0,4570	32,7350
66	7,0174	0,4751	31,2671
73	7,3913	0,4816	31,2508
80	8,8435	0,5373	31,2585
87	9,1130	0,5147	27,0905
94	9,7087	0,5200	25,6900
101	10,6696	0,6063	27,2556
108	11,0391	0,5282	22,9473
115	12,1565	0,6375	25,1532
122	12,6174	0,5547	21,0854
129	13,5652	0,5985	21,1617
136	14,0043	0,6170	21,1294
143	14,4435	0,6332	21,0259
150	14,8652	0,6518	21,0295
157	15,2870	0,6816	21,3836
171	16,1304	0,7409	22,0293
185	17,1174	0,8009	22,4406

Fonte: Dados da pesquisa.

não lineares de Von Bertalanffy e o Logístico. Pode-se observar também que de acordo com o aumento da idade dos animais, os erros-padrão sofrem um acréscimo considerável, em virtude do crescimento desuniforme dos animais.

Os resultados dos parâmetros para cada modelo e os critérios utilizados para a escolha do modelo que melhor descreve a curva média de crescimento de caprinos SRD estão apresentados na Tabela 2.

Quando se comparam as estimativas dos pesos A, obtidas pelos dois modelos, pode-se verificar que o modelo de Bertalanffy apresentou o maior valor. Entretanto, com o parâmetro K, importante indicador de precocidade, constatou-se contraposição nesses

resultados pelos dois modelos (Tabela 2), ou seja, o modelo em que se observou mais precocidade indicou também o menor peso adulto. Por outro lado, convém considerar que o QMR foi mais alto no modelo de Bertalanffy, indicando possibilidade de maior erro, no entanto, sendo o modelo Logístico o de melhor ajuste. Pode ser observado ainda no modelo de Bertalanffy que o valor do DMA foi menor (28,88), apresentando o melhor ajuste aos dados. Para estatística de Durbin Watson, no modelo Logístico o valor encontrado foi menor do que um, indicando correlação positiva do resíduo.

As curvas de crescimento ajustadas de acordo com cada modelo e os valores observados estão apresentados no Gráfico 1.

Tabela 2 - Estimativa de parâmetros e critérios utilizados na seleção do modelo não linear mais adequado

Modelo	Parâmetro			QMR	R ²	DMA	DW
	A	B	K				
Logístico	20,08	6,55	0,01	0,09	0,99	47,25	0,71
Bertalanffy	31,36	0,58	0,07	6,06	0,76	28,88	1,80

Legenda: A, B e K = parâmetros; QMR = quadrado médio do resíduo; R² = coeficiente de determinação; DMA = desvio médio absoluto dos resíduos; DW = estatística de Durbin Watson.

Fonte: Dados da pesquisa.

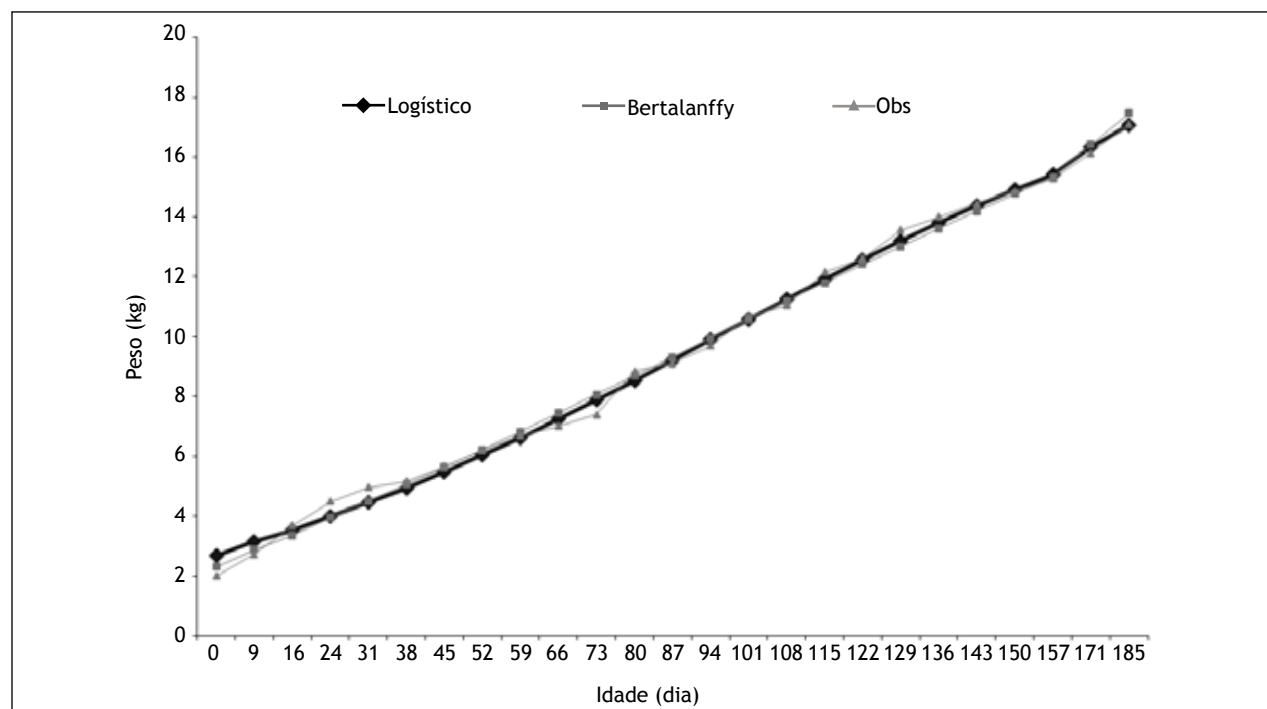


Gráfico 1 - Curvas de crescimento ajustadas de acordo com cada modelo

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com o gráfico apresentado, é possível verificar que o modelo de Von Bertalanffy apresentou valores maiores da curva que os de Logístico. Vale salientar que o mesmo tem maiores chances de erros (QMR = 6,06), ao mesmo tempo em que tem DMA menor (28,89).

Discussão

Em relação ao desenvolvimento de caprinos no semiárido nordestino, os resultados mostraram menor velocidade de crescimento, quando comparados com caprinos mestiços em pasto nativo e suplementados com milho e farelo de soja no período seco em outras regiões. Silva e Araújo (2000) avaliaram as características produtivas com médias de peso das crias ao nascer, aos 28, 56 e 84 dias de idade, respectivamente de 2,26; 4,02; 6,93; 10,97 kg, para $\frac{1}{2}$ Pardo Alpina + $\frac{1}{2}$ Moxotó e de 2,46; 4,32; 7,85 kg; e 12,18 kg, para $\frac{3}{4}$ Pardo Alpina + Moxotó, e 2,46; 4,30; 7,48; e 11,86 kg, para $\frac{1}{2}$ Anglo Nubiana + $\frac{1}{4}$ Pardo Alpina + $\frac{1}{4}$ Moxotó.

Como os dados utilizados não foram além de seis meses de vida dos animais, a estimativa do parâmetro A, representa uma estimativa do peso assintótico e é interpretado como o peso adulto dos animais, segundo a teoria que dá suporte ao modelo. No presente estudo o valor estimado do peso não deve ser visto como o máximo que o animal pode atingir, mas sim o peso médio mais próximo à maturidade, livre das variações sazonais, considerando-se como referência as afirmações de Brown, Fitzhugh Jr. e Cartwright (1976).

Portanto, se com o modelo Logístico constatou-se um maior valor de K, o valor do peso adulto deve ser menor segundo esse modelo, sendo coerente afirmar que os dois se apresentaram consistentes biologicamente para esses critérios. O valor do coeficiente de determinação (R^2) também corrobora esses resultados. Porém a avaliação da qualidade de ajuste em modelos não lineares com base apenas no R^2 não é uma boa opção (SCHABENBERGER, 2010), pois um dos problemas com a definição de R^2 é que este requer a presença de intercepto no modelo, sendo assim, parâmetro que nem sempre compõe os modelos não lineares.

McManaus et al. (2003), salienta que a relação biológica mais importante para uma curva de crescimento está entre os parâmetros A e K. A correlação

negativa existente entre estes parâmetros indica que animais que apresentam maiores taxas de crescimento têm menor probabilidade de atingir maiores pesos à maturidade, que aqueles que crescem mais lentamente no início da vida.

No estudo do crescimento dos animais, o ajuste por meio de modelos não lineares permite uma melhor interpretação desse fenômeno. Guedes et al. (2004), justificam que esses modelos possibilitam a obtenção de informações importantes como precocidade e peso à maturidade, as quais não seriam possíveis de serem obtidas por um simples ajuste de regressão linear.

Conclusão

De acordo com os critérios avaliados para o ajuste de curvas de crescimento de caprinos SRD, pode-se considerar que o modelo de Von Bertalanffy apresentou melhor ajuste com base no DMA e DW, adequando-se melhor aos dados. Levando em consideração os valores obtidos para R^2 e QMR, o modelo Logístico apresentou-se melhor, pois obteve menor valor para QMR, demonstrando resultado menos influenciado pelo resíduo.

Referências

- ARANGO, J. A.; VAN VLECK, L. D. Size of beef cows: early ideas, new developments. **Genetics Molecular Research**, v. 1, n. 1, p. 51-63, 2002.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publishing, 1945.
- BROWN, J. E.; FITZHUGH JR., H. A; CARTWEIGHT, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationship in cattle. **Journal of Animal Science**, v. 42, n. 4, p. 810-818, 1976.
- FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005. doi:10.1590/S1516-35982005000300010.
- GUEDES, M. H. P. et al. 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. doi:10.1590/S1413-70542004000200019.

- KAPS, M.; HERRING, W. O.; LAMBERSON, W. R. Genetic and environmental parameters for traits derived from the Brody growth curve and their relationships with weaning weight in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 6, p. 1436-1442, 2000. PMID:10875624.
- LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v. 29, n. 3, p. 249-263, 1965. PMID:5865687.
- McMANUS, C. et al. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1207-1212, 2003. doi:10.1590/S1516-35982003000500022.
- MELLO, S. P. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento e produtividade em vacas da raça Canchim, utilizando-se inferência bayesiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 92-97, 2006. doi:10.1590/S1516-35982006000100011.
- NELDER, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v. 17, n. 1, p. 89-110, 1961.
- 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**, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, 2000. doi:10.1590/S0100-204X2000000900017.
- RATKOSWSKY, D. A. **Nonlinear regression modeling**. New York: Marcel Dekker Inc., 1983.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, n. 2, p. 290-301, 1959. doi:10.1093/jxb/10.2.290.
- ROSA, A. N. et al. Mudança da curva de crescimento de animais da raça Nelore mediante o uso de índices de seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 8, n. 4, p. 610-621, 1979.
- SARMENTO, J. L. R. et al. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 435-442, 2006. doi:10.1590/S1516-35982006000200014.
- SAS. **User's Guide**: Statistics. Version 8.2. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute, Inc., 2001.
- SCHABENBERGER, O. **SAS Library**: Nonlinear regression in SAS. UCLA. Disponível em: <http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/library/SASNLin_os.htm>. Acesso em: 14 jul. 2010.
- SILVA, F. L. R.; ARAÚJO, A. M. Desempenho produtivo em caprinos mestiços no semiárido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 1028-1035, 2000. doi:10.1590/S1516-35982000000400012.
- TEDESCHI, L. O. et al. Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. 2. Avaliação dos parâmetros da curva de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 5, p. 1578-1587, 2000. doi:10.1590/S1516-35982000000500040.
- VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v. 32, n. 3, p. 217-230, 1957. PMID:13485376.

Recebido: 28/02/2013

Received: 02/28/2013

Aprovado: 24/07/2013

Approved: 07/24/2013

