

Modelos não lineares utilizados para descrever o crescimento de bovinos da raça Nelore no estado da Bahia: 1. Efeito ambiental

Comparison of nonlinear models used to describe Nelore growth in Bahia state: 1. Environmental effect

MALHADO, Carlos Henrique Mendes^{1*}; RAMOS, Alcides Amorim²; CARNEIRO, Paulo Luiz Souza¹, AZEVEDO, Danielle Maria Machado Ribeiro³, MELLO, Paulo Roberto Antunes de¹; PEREIRA, Derval Gomes⁴, SOUZA, Julio César de⁵; MARTINS FILHO, Raimundo⁶

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Biológicas, Jequié, Bahia, Brasil.

²Universidade Estadual Paulista, Departamento de Produção e Exploração Animal, Botucatu, São Paulo, Brasil.

³EmbrapaMeio Norte, Parnaíba, Piauí, Brasil.

⁴Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Química e Exatas, Jequié, Bahia, Brasil.

⁵Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil.

⁶Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Ceará.

*Endereço para correspondência: carlosmalhado@gmail.com

RESUMO

O objetivo, neste estudo, foi avaliar modelos não lineares para descrever o crescimento de bovinos da raça Nelore no estado da Bahia. Utilizaram-se dados de, no mínimo, oito pesagens obtidas em intervalos de aproximadamente 90 dias, do nascimento aos 2 anos de idade, de 6.855 bovinos, provenientes da Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ). Os modelos não lineares utilizados foram: Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz. Após a identificação do modelo que melhor descreve o crescimento, calculou-se a taxa de crescimento absoluto e analisou-se a influência dos fatores ambientais sobre o peso assintótico (A) e taxa de maturidade (k). Os modelos Logístico e Gompertz apresentaram os melhores ajustes, com ligeira superioridade do primeiro. Todos os efeitos ambientais do modelo (sistema de criação, sexo, fazenda, mês e ano de nascimento) influenciaram significativamente os parâmetros A e k . As correlações de Pearson entre A e k foram negativas e iguais a $-0,62$ e $-0,61$ para machos e fêmeas, respectivamente, sugerindo que animais com maior peso adulto provavelmente terão menor velocidade de crescimento. As fêmeas foram mais precoces e de menor peso à maturidade em relação aos machos, contudo, esses possuem maior velocidade de crescimento.

Palavras-chave: curva de crescimento, peso assintótico, taxa de maturidade

SUMMARY

The objective in this study was the analysis of nonlinear models to describe growth of Nelore cattle raised in Bahia State. Data from 6,855 animals weighed at 90-day intervals from birth up to two years of age were used, based on records from the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ). The models utilized were Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logistic and Gompertz. After defining the best model, it was evaluated the influence of environmental effects over asymptotic weight (A) and maturation rate (k). Logistic and Gompertz models presented the best fit, with superiority of the first. Every environmental effects (sex, farm, month, year of birth, and alimentary system) influenced significantly the parameters A and k . Correlations between A and k were -0.62 and -0.61 for males and females, respectively, indicating that larger asymptotic weight animals, probably will have slower growth velocity. Females show early maturation and lower asymptotic weights than males, however, males had fastest growth in comparison to females.

Keywords: asymptotic weight, growth curve, maturation rate

INTRODUÇÃO

As primeiras investigações sobre curvas de crescimento e desenvolvimento ponderal dos animais começaram com as pesquisas de Hammond (1932) e dos membros da Escola de Cambridge, prosseguem com os trabalhos de Brody (1945) e Palsson (1955). Por meio de vários estudos, esses autores descreveram graficamente o crescimento dos animais, mediante uma curva, que apresenta comportamento sigmoidal.

Nos últimos anos, as funções de covariâncias e os modelos de regressão aleatória têm sido propostos como uma alternativa para modelar características que são medidas repetidas vezes na vida dos animais. Essas são denominadas características repetidas ou longitudinais, como, por exemplo, a produção mensal de leite e as características de crescimento como peso e altura, entre outras (DIAS et al., 2006). Entretanto, os modelos biológicos para ajustes da curva de crescimento, por reunirem parâmetros com interpretações biológicas, podem ser importantes como ferramenta adicional em programas de melhoramento genético (KAPS et al., 2000; ARANGO & VAN VLECK, 2002; SANTORO et al., 2005)

De acordo com Freitas (2005), entre as várias aplicações das curvas de crescimento na produção animal, destacam-se: a) resumir em três ou quatro parâmetros, as características de produção, pois alguns parâmetros dos modelos não lineares utilizados possuem interpretação biológica; b) avaliar o perfil de resposta de tratamento ao longo do tempo; c) estudar interações de respostas das sub-populações ou tratamentos com o tempo; d) identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais

jovens; e) obter a variância entre e dentro de indivíduos de grande interesse nas avaliações genéticas.

Modelos matemáticos não-lineares, desenvolvidos para relacionar peso e idade, têm-se mostrado adequados para descrever a curva de crescimento em diferentes animais. Esses modelos permitem que conjuntos de informações em séries de peso por idade sejam condensados num pequeno número de parâmetros, para facilitar a interpretação e o entendimento do fenômeno (OLIVEIRA et al., 2000).

Segundo Malhado et al. (2008a), os modelos mais utilizados para descrever o crescimento dos animais são biológicos, como as funções Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logística e Gompertz.

A escolha do modelo que melhor descreve a curva de crescimento usualmente é baseada na qualidade de seu ajustamento aos dados, na interpretação biológica dos parâmetros e nas dificuldades computacionais para obtenção do ajustamento. Identificado o modelo que melhor se ajustou ao padrão de crescimento, os parâmetros que o descrevem devem ser estudados, identificando-se os fatores ambientais que podem influenciá-los, possibilitando ajustes no padrão de crescimento (SARMENTO et al., 2006). Assim, tornou-se objetivo deste estudo avaliar modelos não lineares para descrever o crescimento em bovinos da raça Nelore no estado da Bahia e, após a identificação do modelo que melhor descreve o crescimento, calcular a taxa de crescimento absoluto e analisar a influência dos fatores ambientais sobre o peso assintótico (A) e a taxa de maturidade (k).

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de, no mínimo, oito pesagens, obtidas a intervalos de, aproximadamente, 90 dias, do nascimento aos 2 anos de idade, de 6.855 bovinos da raça Nelore criados no estado da Bahia, provenientes do controle de desenvolvimento ponderal da raça Nelore, da Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ).

Foram ajustados os modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz (Tabela 1) para se estimar o crescimento do animal e os parâmetros da curva, em que Y representa o peso

corporal à idade t ; A , representa o peso assintótico, interpretado como peso à idade adulta; B , uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal. O valor de B é estabelecido pelos valores iniciais de Y e t ; k é interpretado como taxa de maturação, que deve ser entendida como a mudança de peso em relação ao peso à maturidade, ou seja, como indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto; m é o parâmetro que dá forma à curva e, conseqüentemente, determina em que proporção do valor assintótico (A) ocorre o ponto de inflexão da curva.

Tabela 1. Forma geral dos modelos não-lineares

Modelo	Forma geral
Brody	$y = A(1 - Be^{-kt}) + \varepsilon$
Von Bertalanffy	$y = A(1 - Be^{-kt})^3 + \varepsilon$
Richards	$y = A(1 - Be^{-kt})^{-m} + \varepsilon$
Logístico	$y = A(1 + e^{-kt})^{-m} + \varepsilon$
Gompertz	$y = Ae^{Be^{-kt}} + \varepsilon$

Com modelos não-lineares, não é possível resolver o sistema de equações diretamente, como ocorre no caso linear, uma vez que a resolução do sistema é dependente dos próprios parâmetros a serem estimados. Dessa forma, utiliza-se um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, o qual começa com valores atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados. Calcula-se, então, a soma de quadrado do erro e, a cada passo, obtém-se um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor

final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro (SARMENTO et al., 2006). Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Gauss Newton, modificado por meio do procedimento NLIN do programa SAS (1999). O critério de convergência adotado foi 10^{-8} . Os critérios utilizados para selecionar o modelo que melhor descreve a curva de crescimento foram: 1) quadrado médio do resíduo (QMR) - calculado dividindo-se a soma de quadrados do resíduo pelo número de observações e é o estimador de

máxima verossimilhança da variância residual; 2) coeficiente de determinação (R^2) – calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados; 3) o percentual de convergência (C%) – considerando a existência ou não de convergência; 4) Desvio médio absoluto dos resíduos (DMA), estatística proposta por Sarmiento et al. (2006) para avaliar a qualidade de ajuste, calculado como:

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

em que Y_i é o valor observado, \hat{Y}_i , o valor estimado e n , o tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste.

Depois de selecionado o modelo, calculou-se a taxa de crescimento absoluta (TCA), obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo ($\partial Y / \partial t$). A TCA é, na realidade, o ganho de peso obtido por unidade de tempo, mas, como nesse caso o tempo está em dia, representa o ganho de peso médio diário, estimado ao longo da trajetória de crescimento, ou seja, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população.

Na etapa seguinte, foi avaliada a influência do sexo (macho e fêmea), fazenda (298), sistema de criação (pasto, semi-intensivo e intensivo), mês (janeiro a dezembro) e ano de nascimento (1976 a 2007) sobre os parâmetros A e k , do modelo selecionado, por meio do procedimento GLM do programa SAS (1999). As correlações de Pearson entre os parâmetros A e k foram estimadas pelo procedimento CORR do programa SAS (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no coeficiente de determinação e no percentual de convergência, (Tabela 2), pode-se observar que os modelos Gompertz e Logístico tiveram os melhores ajustes, com valores de aproximadamente 97%. Os menores valores dos desvios médios absolutos (DMA) e do quadrado médio do resíduo também indicam que os modelos Gompertz e Logístico são os melhores para descrever o crescimento dos animais, com ligeira superioridade do modelo Logístico. Souza & Bianchini Sobrinho (1994) frisaram que, quanto maior o número de convergências individuais em relação ao total de animais, melhor é o modelo. Freitas (2005) concluiu que os modelos Logístico e de Von Bertalanffy foram os mais versáteis para ajustar dados de crescimento em oito diferentes espécies. Malhado et al. (2008b), utilizou os mesmos critérios adotados deste trabalho para a definição do modelo de melhor ajuste, e concluíram que os modelos Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz são adequados para descrever o crescimento de caprinos da raça Anglo-Nubiana, com ligeira superioridade do primeiro. De acordo com Brown et al. (1976), a alta correlação negativa entre os parâmetros k e m no modelo Richards geralmente dificulta o ajustamento. Contudo, Lôbo & Martins Filho (2002), ao avaliarem métodos de padronização dos pesos corporais às idades padrão estudados, concluíram que as curvas de Richards e de Brody foram as que melhor representaram o crescimento dos animais, com alguma superioridade da primeira em relação à segunda.

Tabela 2. Estimativa média dos parâmetros (A , B , k , e m), quadrado médio do resíduo (QMR), coeficiente de determinação (R^2), percentual de convergência (C%) e desvio médio absoluto (DMA) de acordo com os modelos estudados para bovinos da raça Nelore no estado da Bahia

Modelo	Parâmetros				QMR	R^2	C (%)	DMA
	A	B	k	m				
Bertalanffy	464,99	0,528	0,0039	-	4961,5	60,79	70,5	39,04
Brody	470,53	0,93	0,0021	-	1620,7	83,40	72,1	21,24
Gompertz	447,69	2,08	0,0038	-	379,6	96,81	96,8	
Logístico	434,85	-	0,004	2,83	281,4	97,31	97,8	11,9
Richards	479,73	0,935	0,068	0,03	4678,5	58,15	74,3	34,82

A=peso assintótico, B= constante de integração, k=taxa de maturação; m=parâmetro de inflexão.

O parâmetro A é uma estimativa do peso assintótico, que é interpretado como o peso à idade adulta. 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). Existem

controvérsias sobre o tamanho adulto ótimo, que depende da espécie, raça, seleção praticada previamente, do sistema de manejo e das condições climáticas (Tabela 3).

Tabela 3. Número de observações (N) e estimativa dos parâmetros (A , k e m) por sexo e sistema de criação, obtidos pelo modelo Logístico, para bovinos da raça Nelore no estado da Bahia

Sexo	Parâmetros			
	N	A	K	m
Fêmeas	3049	392,63±128,53	0,0047±0,0017	2,73±0,46
Machos	3806	487,54±174,60	0,0043±0,0016	2,96±0,50
Sistema de criação				
Pasto	6546	427,88±153,67	0,0045±0,0017	2,82±0,49
Semi-Intensivo	136	526,82±157,84	0,0051±0,0021	3,00±0,44
Intensivo	173	626,15±176,25	0,0051±0,0018	3,22±0,52

A=peso assintótico, k=taxa de maturação; m=parâmetro de inflexão.

Todas as fontes de variação do modelo estatístico (sexo, sistema de criação, fazenda, ano e mês de nascimento) influenciaram significativamente

($P < 0,001$) o parâmetro A . Os efeitos, em ordem de importância, foram sexo, regime alimentar, fazenda, ano e mês de nascimento. A estimativa do peso

assintótico para os machos (487,54kg) foi aproximadamente 24% superior ao valor estimado para as fêmeas (392,63kg). Santoro et al. (2005), analisaram bovinos da raça Nelore, controlados pela ABCZ, no estado de Pernambuco, e relataram estimativas de $503,3 \pm 138,8$ e $374,8 \pm 113,9$ kg para machos e fêmeas, respectivamente, obtidos pela função logística. Silva et al. (2006), também estudaram bovinos da raça Nelore controlados pela ABCZ, e estimaram médias de 518,1 e 315,8kg para machos e fêmeas, respectivamente, por meio da função Brody. Assim, as estimativas do peso assintótico realizadas por Santoro et al. (2005) e Silva et al. (2006) foram superiores para os machos e inferiores para as fêmeas.

Pode-se observar que a diferença no crescimento de machos e fêmeas aumenta com a idade, sendo pequena na fase pré-desmama e atingindo seu máximo por volta dos dois anos de idade (Figura 1). Outro parâmetro importante é o k , que representa a taxa de maturidade do animal, e indicando a velocidade de crescimento para se atingir o peso assintótico (MALHADO et al., 2008b). Animais com altos valores de k apresentam maturidade precoce, em comparação com animais de valores menores de k e de peso inicial similar. Devido à pequena variação no peso ao nascimento, a variação entre os valores de k representa as variações na velocidade relativa em que o animal cresce.

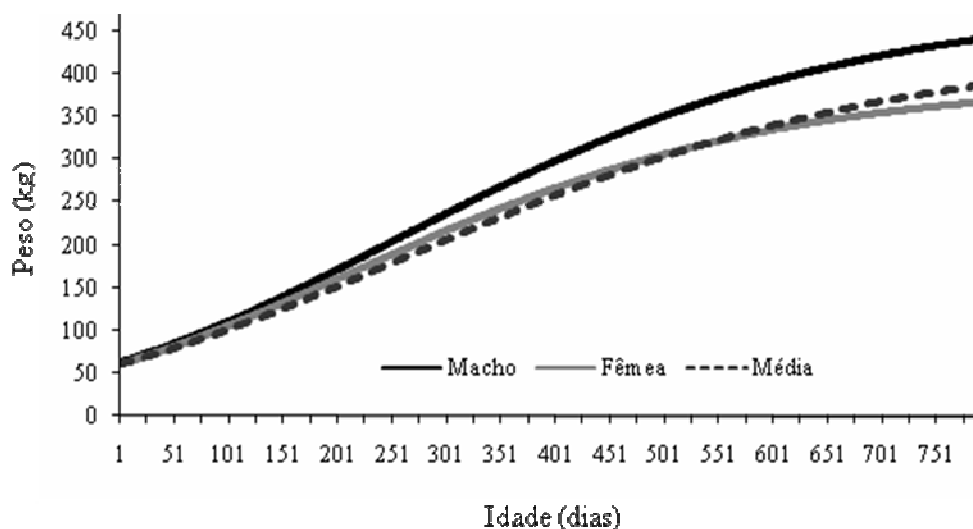


Figura 1. Estimativa do peso em função da idade, obtidos pelo modelo Logístico para bovinos da raça Nelore no estado da Bahia

O parâmetro k foi influenciado significativamente ($P < 0,01$) por todos os efeitos do modelo (sexo, fazenda, ano e mês de nascimento e regime alimentar). Os machos apresentaram menor valor para o parâmetro k e, portanto,

desenvolvimento mais lento em relação às fêmeas, resultado semelhante aos relatados por Santoro et al. (2005) e Silva et al. (2006).

As TCA foram crescentes até atingirem os máximos, aproximadamente 0,660 kg e

0,575 kg por dia, para machos e fêmeas, respectivamente. Pode-se observar que o maior período de crescimento para os machos foi entre 138 e 376 dias de idade, com ganhos superiores a 600 g/dia, enquanto, para as fêmeas, foi entre 86 e 351 dias de idade, com um ganho médio superior a 500g/dia. Nessa fase, a taxa de

crescimento é elevada e positiva, chega ao máximo no ponto de inflexão da curva. O ponto de inflexão, ou seja, o ponto que a função muda de crescente para decrescente foi de 254 e 214 dias de idade, para machos e fêmeas, respectivamente, com pesos de 207,7 e 159,6 kg, na mesma ordem (Figura 2).

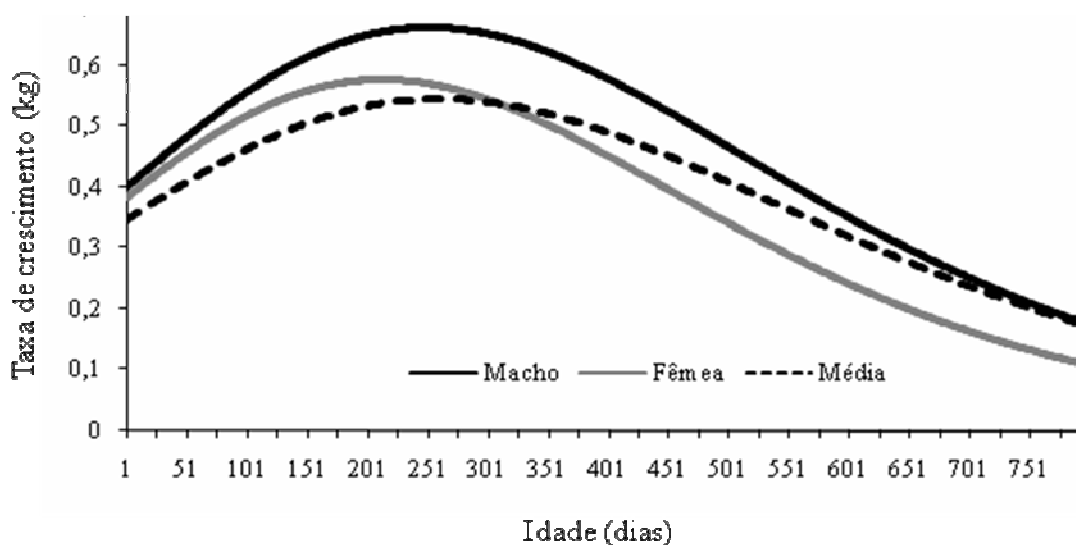


Figura 2. Taxa de crescimento absoluto para bovinos da raça Nelore criados no estado da Bahia estimado pela primeira derivada da função Logística

Aos 205, 365 e 550 dias de idade, os machos atingem 35, 57 e 76% do peso adulto (A), enquanto as fêmeas atingem 42, 64 e 82% de seu crescimento. As fêmeas são mais precoces e de menor peso à maturidade, quando comparadas com machos. Porém, os machos possuem maior velocidade de crescimento. Essa informação é importante para auxiliar os produtores em programas alimentares, reprodutivos e na definição da idade de comercialização com melhor custo-benefício.

As correlações estimadas para os parâmetros A e k do modelo logístico foram

significativas ($P < 0,001$) e iguais a $-0,62$ e $-0,61$ para os animais machos e fêmeas, respectivamente. Uma interpretação biológica para essa correlação é que animais com maiores taxas de crescimento possuem menor probabilidade de alcançar maiores pesos na maturidade, se comparados com aqueles que crescem mais lentamente no início da vida. Em outras palavras, animais que alcançam a maturidade com maior peso possuem menor precocidade de crescimento. De acordo com McManus et al. (2003), a relação entre A e k , é a mais importante biologicamente.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, ao CNPq, e ao Grupo Pagab (Programa de Avaliação Genética Animal da Bahia), pelo apoio financeiro.

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. [[Links](#)].
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publication, 1945. 1023p. [[Links](#)].
- BROWN, 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, n.4, p.810-818, 1976. [[Links](#)].
- DIAS, L.T.; ALBURQUERQUE, L.G.; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R.A. Estimação de parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade para animais da raça Tabapuã utilizando-se modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.1915-1925, 2006. [[Links](#)].
- FREITAS, A.R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.786-795, 2005. [[Links](#)].
- HAMMOND, J. **Farm Animals**. 2.ed. London: Edward Arnold, 1932. 322p. [[Links](#)].
- 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. [[Links](#)].
- LÔBO, R.N.B.; MARTINS FILHO, R. Avaliação de métodos de padronização dos pesos corporais às idades de 205, 365 e 550 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1695-1706, 2002. [[Links](#)].
- MALHADO, C.H.M.; RAMOS, A.A.; CARNEIRO, P.L.S.; SOUZA, J.C.; WECHSLER, F.S.; ELER, J.P.; AZEVÊDO, D.M.M.R.; SERENO, J.R.B. Modelos no lineales para describer el crecimiento de bufalinos da la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.220, p 497-503, 2008a. [[Links](#)].
- MALHADO, C.H.M.; CARNEIRO, P.L.S.; CRUZ, J.F.; OLIVEIRA, D.F.; AZEVEDO, D.M.M.R.; SARMENTO, J.L.R. Curvas de crescimento para caprinos da raça Anglo-Nubiana criados na caatinga:rebanho de elite e comercial. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.4, p.662-671, 2008b. [[Links](#)].

McMANUS, C.; EVANGELISTA, C.;
FERNANDES, L.A.C.; MIRANDA,
R.M.; MORENO-BERNAL, F.E.;
SANTOS, N.R. Curvas de crescimento de
ovinos Bergamácia criados no Distrito
Federal. **Revista Brasileira de
Zootecnia**, v.32, n.5, p.1207-1212, 2003.
[[Links](#)].

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. [[Links](#)].

PALSSON, H. Conformation and body
composition. In: HAMMOND, J. (Ed.).
**Progress in the physiology of farm
animal**. London: Butterworths, 1955.
575p. [[Links](#)].

SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.P.B.;
BRASIL, L.H.A.; SANTOS, E.S.
Estimativas de parâmetros de curvas de
crescimento de bovinos zebu, criados no
estado de Pernambuco. **Revista
Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6,
p.2262-2279, 2005. Supl. [[Links](#)].

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis
System**: user guide: stat. Version 8.2.
Cary, 1999. [[Links](#)].

SARMENTO, J.L.R.; REZAZZI, A.J.;
SOUZA, W.H.; TORRES, R.A.; BREDAS,
F.C.; MENEZES, G.R.O. Estudo da curva
de crescimento de ovinos Santa Inês.
Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35,
n.2, p.435-442, 2006. [[Links](#)].

SILVA, N.A.M.; AQUINO, L.H.;
SILVA, F.F.; MUNIZ, J.A. Estudo de
parâmetros de crescimento de bezerros
nelore por meio de um modelo de
regressão linear: uma abordagem
bayesiana. **Ciência Animal Brasileira**,
v.7, n.1, p.57-65, 2006. [[Links](#)].

SOUZA, J.C.; BIANCHINI SOBRINHO,
E. Estimativas do peso de bovinos de
corte, aos 24 meses, da raça Nelore
usando curvas de crescimento. **Revista
Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.1, p.85-
91, 1994. [[Links](#)].

Data de recebimento: 11/06/2009
Data de aprovação: 15/09/2009