

COMPARAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCREVER O CRESCIMENTO DE FÊMEAS LEITEIRAS MISTIÇAS TAURINO X ZEBU NO NORDESTE DO BRASIL¹

M. A. PEREIRA^{2*}, M. L. MENEZES², V. S. OLIVEIRA³, J. C. T. GUIMARÃES³, A. D. F. SANTOS³

¹Recebido para publicação em 19/01/2016. Aceito para publicação em 07/07/2016.

²Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, SP, Brasil.

³Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

*Autor correspondente: mika@usp.br

RESUMO: Objetivou-se comparar as funções matemáticas de Brody (BD), Von Bertalanffy (VB), Logístico (LG) e Gompertz (GP), identificar a que melhor descreve o crescimento, estimar componentes da curva (peso assintótico: a; índice de maturidade: k) e caracterizar o formato (ponto de inflexão: PI; taxa de crescimento instantâneo: TCI) da curva média de crescimento de fêmeas mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) em sistema de produção semi-extensivo. Foram utilizados 537 registros de pesagens realizadas em intervalos de 30 dias durante o período de 2010 a 2012, pertencentes a três propriedades. Os valores de a e k foram, respectivamente, 1.982 kg e 0,000286 kg/dia para BD; 550,50 kg e 0,00232 kg/dia para VB; 405,20 kg e 0,006374 kg/dia para LG e 479,70 kg e 0,00353 kg/dia para GP. Baseado nos critérios estatísticos observou-se que os modelos VB, BD e LG apresentaram os maiores (>0,74) coeficientes de determinação ajustados (R_a^2), e menor valor do resíduo foi encontrado no modelo GP (4.918,38), indicando que todos os modelos se adequaram estatisticamente aos dados observados. Para os critérios de interpretação biológica, os modelos VB (8,48 meses) e LG (9,4 meses) apresentaram PI mais próximos do observado, o modelo VB (12,04-0,535 kg/mês) foi o único capaz de descrever a TCI, e os demais modelos subestimaram o incremento de peso corporal. O modelo de VB apresentou o melhor ajuste aos dados de crescimento de fêmeas mestiças com alta variabilidade genética em sistema semi-extensivo.

Palavras-chave: curva de crescimento, funções matemáticas, taxa de crescimento instantânea.

COMPARISON OF NONLINEAR MODELS TO DESCRIBE THE GROWTH OF CROSSBRED TAURINE X ZEBU DAIRY COWS IN NORTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT: The objectives of this study were to compare different mathematical functions [Brody (BD), Von Bertalanffy (VB), logistic (LG) and Gompertz (GP)], to identify the model that best describes growth, to estimate curve components (asymptotic weight: a; maturation rate: k), and to characterize the shape (point of inflection: PI; instantaneous growth rate: IGR) of the average growth curve of crossbred cows (*Bos taurus* x *Bos indicus*) raised in a semi-extensive production system. This study used 537 weight records from three farms obtained at intervals of 30 days over the period from 2010 to 2012. The values of a and k were, respectively, 1,982 kg and 0.000286 kg/day for BD; 550.50 kg and 0.00232 kg/day for VB; 405.20 kg and 0.006374 kg/day for LG, and 479.70 kg and 0.00353 kg/day for GP. According to the statistical criteria, models VB, BD and LG exhibited the highest (>0.74) adjusted coefficient of determination (R_a^2), while the lowest residual value was observed for GP (4,918.38), indicating that all models accurately fit the data observed. Regarding the criteria of biological interpretation, models VB (8.48 months) and LG (9.4 months) provided a PI close to the observed, VB (12.04-0.535 kg/month) was the only model able to describe IGR, and the remaining models underestimated the increase in body weight. Model VB provided the best fit to the growth data of crossbred cows with high genetic variability raised in a semi-extensive system.

Keywords: growth curve, mathematical functions, instantaneous growth rate.

INTRODUÇÃO

Em condições tropicais, a utilização de animais mestiços para produção de carne e leite visa otimizar as melhores características de produção de cada grupo genético. Ao considerar os cruzamentos entre raças taurinas (*Bos taurus*) e zebuínas (*Bos indicus*) para produção de leite, é necessária a análise do desempenho, sendo a caracterização da curva de crescimento uma importante ferramenta para a avaliação do desempenho produtivo e reprodutivo destes animais. A modelagem da curva de crescimento permite a visualização do ganho de peso em função do tempo e a predição de características reprodutivas como as idades à puberdade e à concepção (DUPLESSIS *et al.*, 2015).

O peso corporal obtido em diferentes idades pode ser considerado como uma única característica, analisada como medida repetida ou dados longitudinais. Uma alternativa a esse tipo de análise são os modelos não-lineares, que descrevem o crescimento do animal por meio de funções que associam o peso (y) à determinada idade (x), resultando na curva de crescimento. Os modelos não-lineares permitem que parte das informações contidas nas medidas peso-idade sejam resumidas em menor número de parâmetros com interpretação biológica, como por exemplo, o peso adulto e a taxa de maturação, características associadas à idade à primeira cobertura/inseminação, idade ao primeiro parto (COELHO *et al.*, 2006; TORAL, 2008) e à exigência nutricional dos animais de acordo com a fase de crescimento (FERRELL e JENKINS, 1984).

Vários pesquisadores têm utilizado modelos não-lineares em estudos de crescimento de bovinos (BROWN *et al.*, 1976; NOBRE *et al.*, 1987; PEROTTO *et al.*, 1992; OLIVEIRA *et al.*, 2000; FREITAS, 2005; GARNERO *et al.*, 2005; SANTORO *et al.*, 2005; TORAL, 2008; HIROOKA, 2010), sobretudo com os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards. O uso de modelos não-lineares na avaliação do crescimento justificam-se, ainda, por serem bastante flexíveis, pois 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 e, resposta dos indivíduos em função do tempo com variância crescente, o que desfaz a suposição de homogeneidade (MENDES *et al.*, 2009).

É necessário ponderar que na produção de ruminantes, em que os custos de manutenção

com animais ainda em crescimento são altos, o conhecimento do padrão de crescimento do rebanho é de grande relevância e, apesar da existência de trabalhos com diversas raças bovinas, no Brasil, praticamente não existem informações sobre a curva de crescimento de bovinos leiteiros proveniente de cruzamentos aleatórios.

Objetivou-se com o presente trabalho comparar as funções matemáticas de Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz a fim de identificar o modelo que melhor descreve o crescimento, estimar componentes da curva (peso assintótico e índice de maturidade) e caracterizar o formato (ponto de inflexão e taxa de crescimento instantâneo) da curva média de crescimento de fêmeas mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) criadas na região semiárida do Estado de Sergipe.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se 537 registros de pesos e idades de fêmeas bovinas leiteiras mestiças, de alta variabilidade genética (*Bos taurus* x *Bos indicus*), mensuradas durante o período de 2010 a 2012, pertencentes a três propriedades com 14, 18 e 19 animais, do município de Nossa Senhora da Glória, SE, Brasil.

O sistema de ordenha adotado nas propriedades foi diversificado, sendo que em uma delas a ordenha foi mecânica e nas outras duas, manual. Em todas as propriedades houve a presença do bezerro durante a ordenha, manejo usual em raças Zebu e seus mestiços, assim, o desmame só ocorreu no momento da secagem da vaca, por volta dos oito meses de idade do bezerro. Durante a fase de cria e recria, os animais tiveram acesso somente à pastagem, que em sua maioria é nativa do bioma caatinga, característica da região semiárida. As propriedades são de cunho familiar e o sistema de produção adotado é definido como semi-extensivo de acordo com classificação estabelecida por ASSIS *et al.* (2005).

A região de Nossa senhora da Glória está localizada na microrregião do Sertão do São Francisco, a 10°12'57" de latitude sul e 37°25'09" de longitude oeste, a uma altitude de 300 metros. O município está incluído no polígono das secas, apresenta clima do tipo megatérmico semiárido, temperatura média anual de 24,2°C e precipitação pluviométrica média no ano de 701,4 mm (BOMFIM *et al.*, 2002), com curta estação chuvosa e estação seca prolongada, maior que oito meses ao ano.

Os pesos foram estimados, por meio de

fita zoométrica, a cada 30 dias, com início no nascimento e até aproximadamente 798 dias de idade. Com finalidade de minimizar a imprecisão da fita, as mensurações foram realizadas por uma única pessoa. Com a finalidade de selecionar as propriedades participantes do presente estudo foi realizada, preliminarmente, uma análise de variância. Não foi verificado efeito significativo ($P>0,05$) de propriedade sobre a variável peso, assim, o conjunto de dados incluiu as três propriedades.

Quatro funções matemáticas não-lineares foram utilizadas para descrever o padrão médio de crescimento (Tabela 1) das fêmeas mestiças. Nas equações matemáticas apresentadas, y_t representa o peso observado em t ; t representa a idade em dias do animal à pesagem e a o peso assintótico ou peso à maturidade. Quando o peso adulto do animal não é atingido, a reflete uma estimativa do peso às últimas pesagens; o parâmetro b é o fator de integração e não possui significado biológico, porém é importante para modelar as curvas sigmoidal desde o nascimento ($t=0$) até a idade adulta ($t \rightarrow \infty$) do animal; a constante k representa o índice de maturidade e é a razão da taxa de crescimento máxima em relação ao tamanho adulto; e refere-se à base do sistema natural de logaritmos.

Foram calculadas as variáveis taxa de crescimento instantânea (TCI) e ponto de inflexão (PI). A TCI estima o incremento no peso para cada unidade de tempo t , simbolizada pela derivada $\delta y / \delta t$; PI ($y_i; t_i$) é o ponto em que a TCI passa de crescente para decrescente (Tabela 2).

A obtenção dos parâmetros dos modelos não-lineares foi realizada por meio do processo iterativo de Gauss-Newton, utilizando-se o procedimento *nls* do pacote *stats* do software R (R Core Team, 2013). As estimativas iniciais, necessárias para a obtenção das estimativas dos parâmetros por meio do processo iterativo, foram obtidas na literatura. Para a ilustração gráfica as pesagens foram agrupadas em meses de idade.

Para a escolha do modelo mais adequado, foram considerados dois critérios: a) estatístico, baseado

Tabela 1. Funções não-lineares utilizadas para modelar o crescimento médio de fêmeas mestiças leiteiras

Autor	Função	Equação
Brody (1945)	Brody	$y_t = a(1 - be^{-kt})$
Bertalanffy (1957)	Von Bertalanffy	$y_t = a(1 - be^{-kt})^3$
Nelder (1961)	Logístico	$y_t = a(1 + be^{-kt})^{-1}$
Laird (1966)	Gompertz	$y_t = ae^{-be^{-kt}}$

Tabela 2. Fórmulas para a obtenção da taxa de crescimento instantânea e ponto de inflexão para os modelos estudados

Função	$\delta y / \delta t$	$(y_i; t_i)$
Brody	$abke^{-kt}$	³ Não possui
Von Bertalanffy	$3abke^{-kt}(1 - be^{-kt})^2$	$8a / 27$
Logístico	$2kye^{-kt} / (1 + e^{-kt})$	$a(2/3)^2$
Gompertz	$bkye^{-kt}$	\log_b / k

¹taxa de crescimento instantânea; ²ponto de inflexão; y : peso no momento t . ³O ponto de inflexão para o modelo de Brody é o próprio peso ao nascimento.

em GARNERO *et al.* (2005): número de iterações, coeficiente de determinação ajustado (R_a^2), quadrado médio do resíduo; e b) interpretação biológica das estimativas dos parâmetros, baseado em FREITAS (2005): taxa de crescimento instantânea (TCI) e ponto de inflexão (PI) como descrito na Tabela 2 para cada modelo não-linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média observada do peso ao nascimento foi 34,77 kg e do peso e idade à primeira cobertura ou inseminação artificial foram 316,27 kg e 18 meses, respectivamente. A idade e peso a puberdade são de grande relevância zootécnica e determinantes para o êxito da bovinocultura leiteira, pois a eficiência nas fases de cria e recria elevam a lucratividade das propriedades. O peso vivo e idade média ideais à primeira cobertura das fêmeas difere entre raças ou grupos genéticos, no entanto, há consenso na literatura de que estes sejam no mínimo 300 kg e a primeira cobertura aos 21 ou 22 meses de idade para as fêmeas mestiças Holandês x Zebu (SILVA *et al.*, 2008, FERREIRA *et al.*, 2004).

Os parâmetros médios ($a, b e k$) estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que o modelo BD estimou o valor mais elevado de a e o menor valor k dentre os demais.

O peso assintótico ou peso a maturidade representado pelo parâmetro a foi mais elevado (1.982 kg) para o modelo BD (Tabela 3). TEDESCHI *et al.* (2000) demonstraram que a função BD normalmente superestima o valor do peso adulto. O alto valor encontrado para o parâmetro a pode ser justificado pela estrutura de dados, uma vez que em algumas propriedades os animais não foram mensurados em idades mais avançadas. De acordo com TORAL (2008) as estimativas de a e k aproximam-se dos valores reais à medida que diminui o intervalo e aumenta o número

Tabela 3. Parâmetros médios (*a*, *b* e *k*) para as funções utilizadas na descrição do crescimento de fêmeas mestiças leiteiras

¹ Item	² Função			
	BD	VB	LG	GP
<i>a</i> (kg)	1.982 ± 45,44	550,5 ± 17,26	405,2 ± 10,26	497,7 ± 13,87
<i>b</i>	0,9834 ± 0,00653	0,593 ± 0,01338	7,733 ± 0,5253	2,494 ± 0,0811
<i>k</i> (kg/dia)	0,000286 ± 0,00014	0,00232 ± 0,00018	0,006374 ± 0,00028	0,00353 ± 0,0002

¹*a*: peso assintótico; *b*: fator de integração; *k*: taxa de maturidade. ²BD: Brody; VB: Von Bertalanffy; LG: Logístico; GP: Gompertz.

de pesagens. De forma geral, quando os dados disponíveis contemplam apenas o crescimento antes dos animais atingirem a maturidade, as estimativas de *a* podem ser consideradas extrapolações (GARNERO *et al.*, 2005; MARINHO *et al.*, 2013). Segundo LOPES *et al.* (2011), para obtenção de estimativas precisas dos parâmetros dos modelos não-lineares são necessárias avaliações de pesagens do nascimento até a idade adulta. Os modelos VB (550,5 kg) e GP (497,7 kg) apresentaram valores de *a* próximos, decrescendo nessa ordem, enquanto o modelo LG (405,2 kg) estimou o menor valor. O mesmo foi observado em trabalhos envolvendo raças zebuínas (OLIVEIRA *et al.*, 2000; GARNERO *et al.*, 2005; SANTORO *et al.*, 2005; FORNI *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2011), embora estes apresentem valores inferiores aos encontrados nesse estudo.

O parâmetro *k* representa a taxa de maturidade e indica a velocidade no sentido de atingir o peso assintótico a partir do peso ao nascimento. Quanto maior o valor de *k*, menor será o tempo para atingir o peso assintótico, ou seja, maior a velocidade de crescimento do animal (GARNERO *et al.*, 2005). Quando comparadas as estimativas das taxas de maturidade, ou parâmetro *k*, estimadas pelos diferentes modelos verifica-se que o valor de LG (0,006374 kg/dia) foi superior aos demais, enquanto GP (0,00353 kg/dia) e VB (0,00232 kg/dia) apresentaram valores próximos, e BD (0,000286 kg/dia) com valor inferior aos demais.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de crescimento obtidas a partir das médias dos pesos observados nas diferentes idades e pelos pesos preditos para os quatro modelos não-lineares estudados. Pode-se observar que houve ajustamento das curvas estimadas em relação à observada, embora os modelos LG e GP apresentem tendência a superestimar os pesos a partir do 13º mês de idade, todas as funções se adequaram ao padrão de crescimento observado nos rebanhos leiteiros mestiços.

Para o peso ao nascimento o modelo BD (32,9 kg) aproximou-se mais do valor observado (33,13 kg),

enquanto as funções LG, GP e VB superestimaram esta característica, com valores de 46,4, 39,61 e 37,11 kg, respectivamente, corroborando os resultados obtidos por LOPES *et al.* (2011). De acordo com FREITAS (2005) e ARAÚJO *et al.* (2012) parece haver uma tendência de superestimação dos pesos iniciais quando se utilizam esses modelos, principalmente, quando há poucas pesagens e em grandes intervalos. OLIVEIRA *et al.* (2000), ao estudar a curva de crescimento de fêmeas zebuínas, observaram média de peso ao nascimento de 27,3 kg e, por meio dos modelos de LG e GP, estimaram médias de 44,45 e 39,16 kg, respectivamente.

As oscilações das médias de pesos observadas a partir de 12 meses de idade (Figura 1), podem ser explicadas pelo sistema de criação utilizado nas propriedades, uma vez que para esta categoria, na maioria das vezes, o manejo era realizado em piquetes com pastagens nativas como a única fonte de alimento e sem planejamento nutricional para os períodos críticos de seca. Em tais condições há diminuição das taxas de crescimento podendo, inclusive, haver perda de peso corporal.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos critérios estatísticos e biológicos utilizados para seleção da função que melhor descreveu os dados de crescimento.

O número de iterações foi menor para o modelo VB (6) e maior para BD (18), enquanto os modelos LG e GP apresentaram valores iguais (7) (Tabela 4). Esse critério está relacionado à facilidade computacional de análise dos dados; o maior número de iterações necessárias para a convergência no modelo BD indicou maior dificuldade computacional de ajuste desse modelo aos dados, contudo, SOUZA *et al.* (2010) e MARINHO *et al.* (2013) relataram maior facilidade de convergência dos parâmetros utilizando o modelo BD em comparação aos demais modelos estudados.

Os valores do quadrado médio do erro foram similares entre os modelos estudados (Tabela 4), sendo que GP apresentou o menor valor, seguido por VB, BD e LG. Esse critério indica a associação entre os valores observados e os estimados, ou seja,

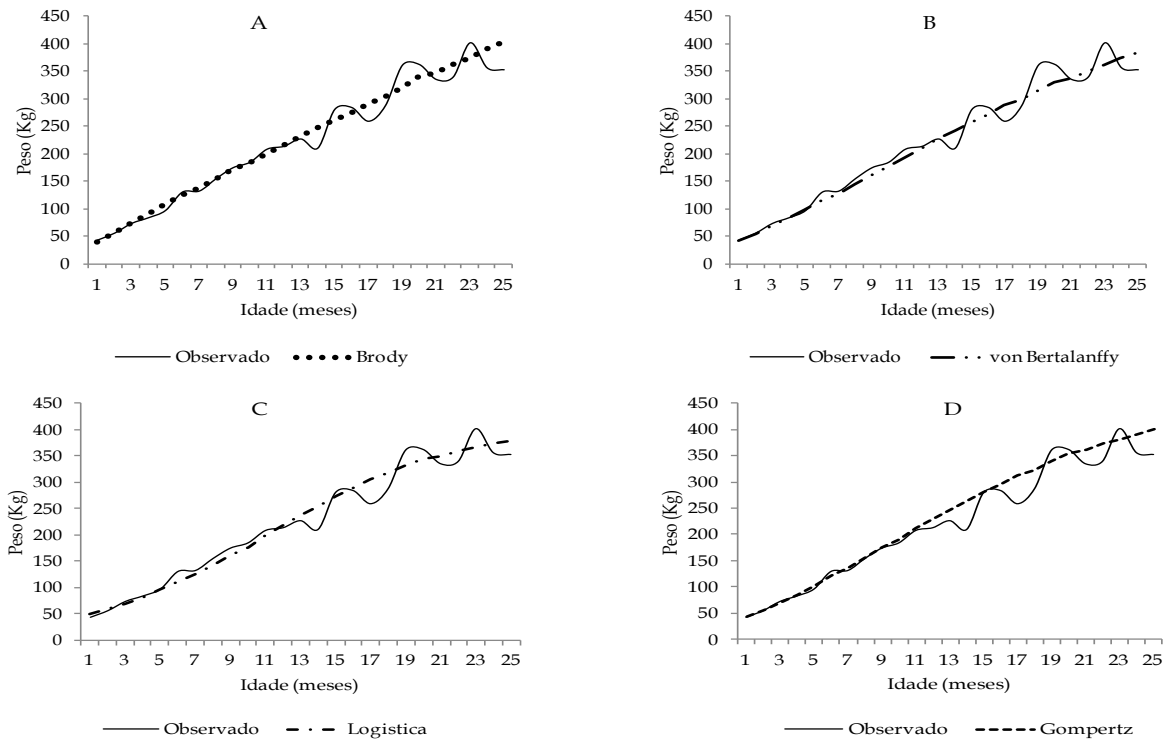


Figura 1. Médias de pesos observados e preditos em função da idade para os modelos estudados. A: Brody; B: Von Bertalanffy; C: Logístico; D: Gompertz.

Tabela 4. Critérios estatísticos e biológicos utilizados para comparação dos modelos não-lineares utilizados para descrever o crescimento de fêmeas mestiças leiteiras

Critério	Função			
	BD	VB	LG	GP
Número de iterações	18	6	7	7
Quadrado médio do erro	4.940,89	4.931,26	5.022,68	4.918,38
R_a^2	0,7494	0,7487	0,7482	0,7436
Peso ao ponto de inflexão (kg)	-	163,11	180,09	112,43
Idade ao ponto de inflexão (mês)	-	8,48	9,40	5,03

¹BD: Brody; VB: Von Bertalanffy; LG: Logístico; GP: Gompertz. ² R_a^2 : coeficiente de determinação ajustado.

quanto menor o quadrado médio do erro, melhor é a associação (MARINHO *et al.*, 2013). Resultado contrário foi relatado por TEDESCHI *et al.* (2000), em que o quadrado médio do erro dos modelos VB, LG e GP diferiram dos valores encontrados para a função BD.

Os coeficientes de determinação ajustados (R_a^2) foram semelhantes entre os modelos (Tabela 4), sendo que o modelo BD apresentou o maior valor, seguido por VP, LG e GP. Na literatura observam-se valores acima de 0,76 (OLIVEIRA *et al.*, 2000; FREITAS, 2005; GARNERO *et al.*, 2005; SANTORO *et al.*, 2005; HIROOKA, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2011; MARINHO *et*

al., 2013). Considerando que o conjunto de dados do presente estudo é composto por animais de diferentes composições genéticas e, portanto, apresenta grande variabilidade, o valor de R_a^2 acima de 0,74 demonstra ajuste dos modelos aos dados.

Os pontos de inflexão médios apresentaram pouca variação entre os modelos LG (9,40 meses) e VB (8,48 meses), sendo o menor deles estimado a partir da função GP (5,03 meses). O ponto de inflexão representa o ponto em que a função muda o sentido crescente para decrescente (MALHADO *et al.*, 2009), a partir desse ponto a taxa de crescimento começa a diminuir em virtude de uma série de

fatores fisiológicos que inibem progressivamente o crescimento, embora o animal não deixe de crescer até que atinja a maturidade (SOUZA *et al.*, 2010). O período de máximo ganho de peso foi do terceiro ao décimo segundo mês de idade. Assim, os modelos VB, LG e GP enquadram-se no intervalo de máximo crescimento corporal. Resultados semelhantes foram obtidos por SOUZA *et al.* (2010), que encontraram ponto de inflexão médio em fêmeas zebu de 6,74 meses. GARNERO *et al.* (2005) estimaram valores de 6,81; 10,60 e 9,13 meses de idade ao ponto de inflexão, respectivamente para os modelos VB, LG e GP, e observaram maior ganho de peso no intervalo de dois a nove meses de idade.

Na Figura 2 estão representadas as estimativas das taxas de crescimento instantâneo ($TCI = \delta y / \delta t$). Observa-se que o modelo VB iniciou com ganho de 12,04 kg/mês, sendo o único modelo capaz de descrever o incremento de peso corporal, os modelos GP, BD e LG apresentaram ganho médio inicial de 0,623, 0,555 e 0,180 kg/mês e final de 0,259, 0,451 e 0,021 kg/mês, respectivamente, subestimando o incremento de peso corporal. De acordo com LOPES *et al.* (2011), a taxa de crescimento deve refletir o aumento do nascimento até atingir o ponto em que o crescimento é máximo (ponto de inflexão) e depois decresce até atingir valores próximos a zero quando o tamanho máximo (peso assintótico) do indivíduo é alcançado.

GARNERO *et al.* (2005) concluíram que os

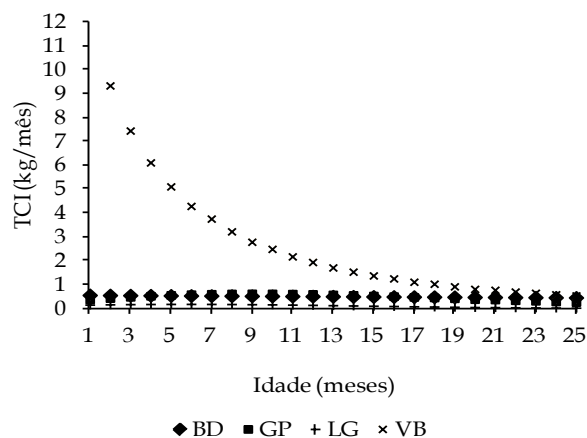


Figura 2. Taxas de crescimento instantâneo (TCI) estimadas pelos modelos Brody (BD), Gompertz (GP), Logístico (LG) e Von Bertalanffy.

quatro modelos analisados nesse estudo podem ser satisfatoriamente utilizados para descrever a curva de crescimento em rebanhos zebuínos. OLIVEIRA *et al.* (2000), em estudo com raças

zebuínas, consideraram o modelo de VB como o de melhor ajuste aos dados. TEDESCHI *et al.* (2000), utilizando modelos não-lineares para caracterizar o crescimento de machos e fêmeas da raça Guzerá e seus cruzamentos (3/4 Guzerá - 1/4 Pardo Suíço; 1/2 Nelore - 1/4 Pardo Suíço - 1/4 Guzerá; 1/2 Pardo Suíço - 1/2 Guzerá; 1/2 Chianina - 1/4 Pardo Suíço - 1/4 Guzerá; 1/2 Caracu - 1/2 Guzerá; 1/2 Caracu - 1/4 Pardo Suíço - 1/4 Guzerá), verificaram que o modelo mais adequado foi o GP, seguido de VB e, segundo os autores, o modelo BD apresentou as maiores estimativas de peso adulto e o Logístico as menores estimativas dos parâmetros. Em trabalhos realizados com rebanhos Zebu, FORNI *et al.* (2009), SILVA *et al.* (2011) e MARINHO *et al.* (2013) relataram melhor qualidade de ajuste para descrição de crescimento no modelo BD, já SOUZA *et al.* (2010) descreveram o modelo LG como sendo o de melhor ajuste.

Baseado nos critérios estatísticos pôde-se observar que os modelos VB, BD e LG apresentaram o menor número de iterações e maiores R_a^2 , enquanto que o menor valor do resíduo foi encontrado no modelo GP. Isto indica que todos os modelos analisados se adequaram estatisticamente aos dados observados, porém esses não podem ser os únicos critérios de decisão do modelo de melhor ajuste. Para os critérios de interpretação biológica, os modelos VB e LG apresentaram o ponto de inflexão mais próximo do observado, e o modelo VB foi o único capaz de descrever a taxa de crescimento instantâneo. Os demais modelos subestimaram o incremento de peso corporal. Analisando os dois critérios propostos para escolha do modelo mais adequado, nota-se que o modelo VB apresentou o melhor ajuste aos dados de crescimento de fêmeas mestiças com diferentes composições de *Bos taurus* x *Bos indicus*. Em trabalho com animais de origem Zebu, LOPES *et al.* (2011), da mesma forma, sugeriram o modelo VB como sendo o mais indicado para representar a curva média de crescimento.

O estudo da curva de crescimento associado às características produtivas e reprodutivas é fundamental para a produção animal, pois constitui uma ferramenta passível de utilização nas tomadas de decisões referentes ao manejo dos rebanhos e em programas de melhoramento genético.

CONCLUSÃO

O modelo Von Bertalanffy adequou-se estatisticamente e apresentou a melhor interpretação biológica ao conjunto de dados, sendo esse o modelo de melhor ajuste à forma da curva de crescimento de fêmeas mestiças *Bos taurus* x *Bos indicus*.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R.O.; MARCONDES, C.R.; DAMÉ, M.C.F.; GARNERO, A.D.V.; GUNSKI, R.J.; EVERLING, D.M.; RORATO, P.R.N. Classical nonlinear models to describe the growth curve for Murrah buffalo breed. **Ciência Rural**, v.42, p.520-525, 2012.
- ASSIS, A.G.; STOCK, L.A.; CAMPOS, O.F.; GOMES, A.T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M.R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2005. (Circular Técnica, 85).
- BOMFIM, L.F.C.; COSTA, I.V.G.; BENVENUTI, S.M.P. **Projeto de infraestrutura hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe - diagnóstico do município de Nossa Senhora da Glória**. Aracaju: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2002.
- 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**, v.42, p.810-818, 1976.
- COELHO, J.G.; BARBOSA, P.F.; SANCHES, A.; TONHATI, H. Correlações entre parâmetros da curva de crescimento e medidas de eficiência produtiva de fêmeas da raça Holandesa Preta e Branca. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ/UFPB, 2006. CD-ROOM.
- DUPLESSIS, M.; CUE, R.I.; SANTOSCHI, D.E.; LEFEBVRE, D.M.; LACROIX, R. Weight, height, and relative-reliability indicators as a management tool for reducing age at first breeding and calving of dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.98, p.2063-2073, 2015.
- FERREIRA, C.M.; SIMIONI, V.M.; FERREIRA, C.M. Comportamento reprodutivo em matrizes mestiças e PC Holandês X Zebu de um rebanho do município de Divinópolis - MG. In: SEMANA ACADÊMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 1., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2004. CD-ROOM.
- FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, v.58, p.234-243, 1984.
- FORNI, S.; PILES, M.; BLASCO, A.; VARONA, L.; OLIVEIRA, H.N.; LÔBO, R.B.; ALBUQUERQUE, L.G. Comparison of different nonlinear functions to describe Nelore cattle growth. **Journal of Animal Science**, v.87, p.496-506, 2009.
- FREITAS, A.R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.786-795, 2005.
- GARNERO, A.D.V.; MARCONDES, C.R.; BEZERRA, L.A.F.; OLIVEIRA, H.N.; LÔBO, R.B. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, p.652-662, 2005.
- GONÇALVES, T.M.; DIAS, M.A.; AZEVEDO JUNIOR, J.; RODRIGUEZ, M.A.P.; TIMPANI, V.D.; OLIVEIRA, A.I.G. Curvas de crescimento de fêmeas da raça Nelore e seus cruzamentos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.582-590, 2011.
- HIROOKA, H. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. **Animal Science Journal**, v.81, p.411-424, 2010.
- LOPES, F.B.; SILVA, M.C.; MARQUES, E.G.; FERREIRA, J.L. Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, p.607-617, 2011.
- MALHADO, C.H.M.; CARNEIRO, P.L.S.; AFFONSO, P.R.A.M.; SOUZA JÚNIOR, A.A.O.; SARMENTO, J.L.R. Growth curves in Doper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. **Small Ruminant Research**, v.84, p.16-21, 2009.
- MARINHO, K.N.S.; FREITAS, A.R.; FALCÃO, A.J.S.; DIAS, F.E.F. Nonlinear models for fitting growth curves of Nelore cows reared in the Amazon Biome. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, p.645-650, 2013.
- MENDES, P.N.; MUNIZ, J.A.; SILVA, F.F.; MAZZINI, A.R.A.; SILVA, N.A.M. Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas Hereford por meio da função não linear de Gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, p.454-461, 2009.
- NOBRE, P.R.C.; ROSA, A.N.; SILVA, L.D.; EVANGELISTA, S.R.M. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequências de pesagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.1027-1037, 1987.
- 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, p.1843-1851, 2000.
- 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**, v.72, p.773-782, 1992.
- R CORE TEAM. **R. A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.B.P.; 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, p.2262-2279, 2005.

- SILVA, E.V.; SOARES, P.; SIMIONI, V.M. Estudo descritivo de características reprodutivas e da produção de leite de um rebanho bovino mestiço no município de Uberlândia. **Horizonte Científico**, v.2, p.1-29, 2008.
- SILVA, N.A.M.; LANA, A.M.Q.; SILVA, F.F.; SILVEIRA, F.G.; BERGMANN, J.A.G.; SILVA, M.A.; TORAL, F.L.P. Seleção e classificação multivariada de modelos de crescimento não lineares para bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, p.364-371, 2011.
- SOUZA, L.A.; CAIRES, D.N.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M.; MARTINS FILHO, R. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.671-676, 2010.
- TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.; LEME, P.R. 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, p.1578-1587, 2000.
- TORAL, F.L.B. Número e intervalo de pesagens para estimação de parâmetros de curvas de crescimento em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.2120-2128, 2008.