

CURVAS DE CRESCIMENTO DE GADO NELORE AJUSTADAS PARA DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE PESAGENS¹

PAULO ROBERTO C. NOBRE², ANTONIO DO N. ROSA³,
LUIZ OTÁVIO C. DA SILVA⁴ e SÍLVIO ROBERTO M. EVANGELISTA⁵

RESUMO - De 2.116 bovinos Nelore, foram selecionados 955 animais com dados de pesagens mensais, de até 24 meses de idade. Desta amostra foram escolhidos, aleatoriamente, seis reprodutores. Em face dos efeitos de ano e época de parto sobre o peso ($P < 0,01$), os animais foram agrupados em dois períodos (1963-70 e 1971-74) e em duas épocas de parto (estação seca, abril a setembro; e estação chuvosa, outubro a março). Os dados foram classificados por reprodutor, sexo, período e época de parto, em 48 subgrupos. Os dados de peso-idade de cada subgrupo, para intervalos de um, dois e três meses, foram ajustados a cinco modelos matemáticos de crescimento: Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards. Para todos os modelos e intervalos de pesagem os coeficientes de determinação (CD) foram maiores do que ou iguais a 98%. O CD de Brody para intervalos de um (98,4%), dois (98,3%) e três meses (98,4%) foi ligeiramente superior ao CD dos outros modelos. De acordo com comparações sobre os coeficientes de determinação, os desvios-padrão da regressão e a facilidade de computação, não houve diferença entre os dados correspondentes aos pesos tomados com intervalos de um, dois e três meses.

Termos para indexação: modelos não lineares, bovinos de corte.

COMPARISON OF DIFFERENT WEIGHING INTERVALS FOR FITTING GROWTH CURVES OF NELLORE CATTLE

ABSTRACT - From a herd of 2,116 Nelore cattle from the Bonsucesso Ranch, located in Guararapes, SP, Brazil, 955 animals which had been weighted monthly from birth to 24 months of age were selected. This group included male and female progenies, out of six randomly selected sires. Due to significant year and calving season effects on weight ($P < 0.01$), the animals were grouped in to two periods (1963-1970 and 1971-1974) and two calving season (dry season, April-September and rainy season, October-March). Data were classified by sire, sex, period and calving season in 48 subgroups. The weight-age data of each subgroup, for intervals of 1, 2 and 3 months, were fitted to five mathematical models describing growth: Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logistic and Richards. For all models and all weighing intervals the determination coefficients (DC) were greater than or equal to 98.0%. The Brody's DC for intervals of 1 (98.4%), 2 (98.3%), and 3 months (98.4%) were slightly superior to the DC from the other models. According to comparisons on the determination coefficients, regression standard deviations and computational ease there was no difference among the sets of data corresponding to weights taken with intervals of 1, 2 and 3 months.

Index terms: non linear models, beef cattle.

INTRODUÇÃO

Embora os efeitos de sexo, raça, mês e ano de nascimento, dentre outros, sobre o crescimento de bovinos, sejam intensamente pesquisados, grande parte destes trabalhos são limitados a poucas

medidas, tais como o peso ao nascer, peso à desmama e peso a um ano de idade (Rosa et al. 1978). Assim, nos últimos anos tem aumentado o interesse pelas curvas de crescimento que relacionam o peso de um animal com a sua idade. Dentre alguns autores que têm usado modelos não lineares para descrever o crescimento de bovinos de corte em condições brasileiras podemos citar Duarte (1975), Silveira Junior (1976) e Ludwig (1977). Um modelo de crescimento condensa grande volume de informações de todo o período de vida do animal em um pequeno conjunto de parâmetros, interpretáveis biologicamente. A associação desses parâmetros às características produtivas e reprodu-

¹ Aceito para publicação em 13 de março de 1987.

² Zoot., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), Caixa Postal 154, CEP 79080 Campo Grande, MS.

³ Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA-CNPGC, Bolsista do CNPq.

⁴ Zoot., M.Sc., EMBRAPA-CNPGC.

⁵ Estatístico, EMBRAPA-DMQ.

tivas dos animais pode ser uma boa ferramenta a ser utilizada em programas de seleção, como demonstram os trabalhos de Eisen et al. (1969), Fitzhugh Jr. & Taylor (1971), Brown et al. (1972), Fitzhugh Jr. (1976) e Rosa et al. (1979).

Modelos não lineares têm sido usados para ajustar o relacionamento entre tamanho e idade dos animais (Nelder 1961 e 1962). A forma geral desses modelos, referida como função Richards, é representativa de um número infinito de casos, incluindo as funções Brody, von Bertalanffy, Gompertz e Logística (Fitzhugh Júnior 1976).

A função Richards descreve mudanças no tamanho Y (peso) em relação à idade t , e é representada pela equação:

$$Y_t = A(1 \pm B e^{-kt})^M, \text{ em que:}$$

O sinal inferior, no segundo membro desta equação, aplica-se quando $M > 1$ e o superior quando $M < 0$.

A interpretação dos parâmetros desta função é a seguinte:

A: valor assintótico, tomado quando $t \rightarrow \infty$, interpretado como peso assintótico ou medida do peso à maturidade, independente de flutuações de peso devidas a efeitos de ambiente ou à própria fisiologia do animal;

B: parâmetro escala (constante de integração), não tem interpretação biológica. É estabelecido pelos valores iniciais de Y e t , que ajusta a situação quando $Y \neq 0$ e/ou $t \neq 0$;

K = índice de maturidade ou medida de precocidade. Fazendo-se k^{-1} obtém-se o intervalo de tempo gasto para atingir a maturidade, o que serve para se medir as mudanças no grau de maturidade (Taylor 1965);

M: parâmetro inflexão, que estabelece o grau de maturidade u_1 , no ponto de inflexão, $u_1 = [(M - 1)/M]^M$, sendo u_t a proporção do peso atingido à idade t : $u_t = Y_t/A = (1 - B e^{-kt})^M$.

As equações e propriedades da curva de crescimento de Richards e seus casos especiais encontram-se na Tabela 1.

A propriedade essencial das funções de crescimento, segundo Fitzhugh Júnior (1976) é proporcionar estimativas dos parâmetros que são interpretáveis biologicamente. A seleção de qualquer destas funções depende de uma boa estimativa de A ou das idades nas quais as últimas pesagens foram

observadas, da espécie animal, bem como da natureza do estudo e da aplicação que se pretenda dos resultados (Rosa et al. 1978).

Ludwig (1977) sugeriu que a escolha de uma curva de crescimento deve ser baseada na análise de, no mínimo, três itens: interpretação biológica dos parâmetros, aderência e dificuldades computacionais.

O modelo Brody, em bovinos, parece ser o mais adequado para estudos de aspectos genéticos de peso, e de peso e taxa de maturidade (Brown et al. 1972). E, ajusta-se melhor aos dados do que os modelos von Bertalanffy, Gompertz e Logístico (Duarte 1975, Silveira Júnior 1976 e Ludwig 1977).

De acordo com Brown et al. (1976), o modelo Brody, mais fácil do ponto de vista computacional, ajustou-se tão bem quanto o de Richards para os pesos obtidos acima de seis meses de idade, mas superestimou os pesos antes dessa idade.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar as diferenças de ajustamento das curvas de crescimento, em função dos coeficientes de determinação, desvios-padrão da regressão e dificuldades computacionais dos modelos Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards, aplicados a dados de pesagens mensais, bimestrais e trimestrais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente trabalho constituem uma amostra de um conjunto de 2.116 bovinos Nelore puros pertencentes ao rebanho da fazenda Bonsucesso, município de Guararapes, Estado de São Paulo, Localizada a, aproximadamente, 21°12' de latitude sul e 50°26' de longitude oeste.

O clima é do tipo tropical semi-úmido, com temperatura média mensal de 22,8°C, sendo 30°C e 16,6°C as médias das temperaturas máxima e mínima, respectivamente. As médias mensais da umidade relativa do ar e da precipitação pluviométrica são respectivamente, 71% e 91,6 mm.

Dos 2.116 bovinos, foram selecionados 955 animais com dados de pesagens mensais do nascimento aos 24 meses de idade. Desta amostra foram escolhidos aleatoriamente seis reprodutores cujas progênes, pertencentes aos dois sexos, nasceram de 1963 a 1974. Os nascimentos envolveram dois períodos (1963-1970 e 1971-1974) e duas estações de nascimento: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), totalizando 48 conjuntos de informações.

TABELA 1. Equações e propriedades de casos especiais da função de crescimento de Richards (Fitzhugh Júnior 1976).

Função	Função de Y_t	M	u_1	Assíntota
Brody	$A - be^{-Kt}$	1	...	A
von Bertalanffy	$A(1 - be^{-Kt})^3$	3	8/27	A
Gompertz	$A \exp(-be^{-Kt})$	$M \rightarrow \infty$	e^{-1}	A
Gompertz ¹	$Y_0 e^{L(1 - e^{-\alpha t})/\alpha}$	-	.368	$Y_0 e^{L/\alpha}$
Logístico	$A(1 + be^{-Kt})^{-1}$	-1	.5	A
Richards	$A(\pm be^{-Kt})^M$	Variável	$[(M-1)/M]^M$	A

¹ Segundo Laird & Howard (1967).

A determinação destes períodos e destas estações teve como base uma análise prévia dos dados, na qual se observaram médias de peso distintas nestas duas subclasses ($P < 0,01$; dados não publicados).

Os dados de pesagens mensais, bimestrais e trimestrais foram submetidos ao ajustamento das curvas de crescimento utilizando-se os modelos Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards.

Os dados foram ajustados pelo procedimento NLIN, contido no Statistical Analysis System User's Guide (Goodnight & Sall 1982), utilizando-se o método "secant" (DUD). O método do falso ponto, também denominado método DUD (Ralston & Jennrich 1979), é semelhante ao método de Gauss-Newton, exceto pelo fato de que as derivadas são estimadas a partir de um histórico de iterações, ao invés de deduzidas analiticamente.

Os parâmetros iniciais foram estabelecidos ajustando-se cada modelo com as médias dos dados nas várias idades, tendo como valores iniciais os citados na literatura (Ludwig 1977). As estimativas obtidas foram então utilizadas como parâmetros iniciais em cada um dos conjuntos de informações, de acordo com o modelo.

A interpretação dos parâmetros contidos nos casos especiais da curva de crescimento de Richards segue a descrição apresentada para o modelo Richards, sendo que no presente trabalho utilizou-se o modelo Gompertz, caracterizado por:

$$Y_t = Y_0 e^{L(1 - e^{-\alpha t})/\alpha}$$

em que o peso inicial para o período estudado é dado por Y_0 ; L é a taxa de crescimento inicial específica, e α mede a taxa de decréscimo exponencial de L (Laird & Howard 1967).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De 48 conjuntos de informações submetidos ao ajustamento das curvas de crescimento, obteve-se convergência nos dados de pesagens mensais em 35, 40, 40, 39 e 40 nos modelos Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards, respectivamente. Nesta mesma ordem, porém, com os dados de pesagens bimestrais, a convergência foi alcançada em 36, 40, 40, 49 e 40 conjuntos. Enquanto que para os dados de pesagens trimestrais, a convergência conseguida se deu em 39, 38, 34, 39 e 40 conjuntos.

Na Tabela 2 encontram-se as convergências para cada um dos modelos, de acordo com as frequências de pesagem a que os modelos foram ajustados.

TABELA 2. Número de conjunto de dados nos quais foi alcançada convergência, de acordo com o modelo e frequências de pesagens¹.

Frequências de pesagem	Modelo				
	Brody	von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Richards
Mensal	35	40	40	39	40
Bimestral	36	40	40	39	40
Trimestral	39	38	34	39	40

¹ Total de conjuntos = 48

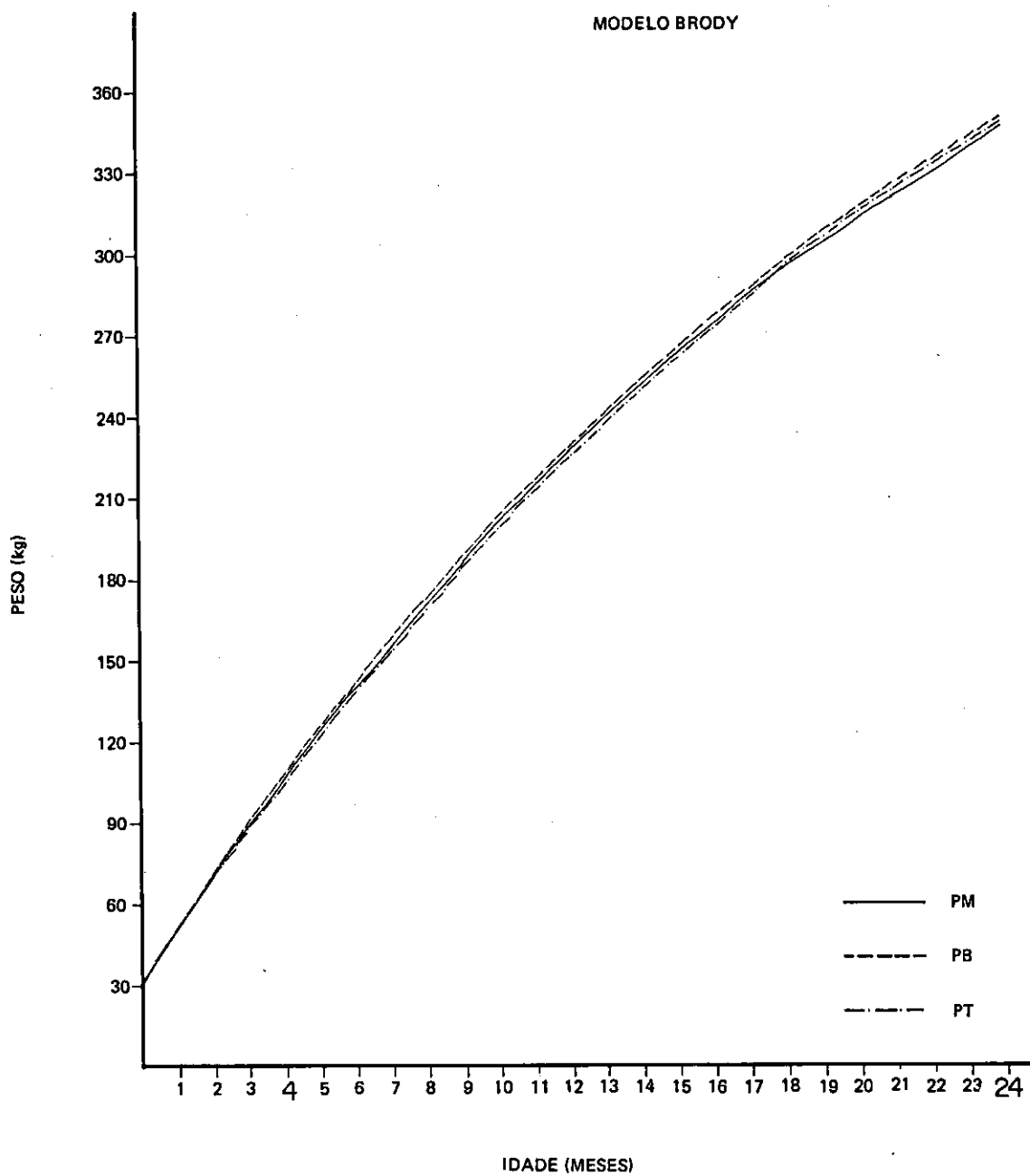


FIG. 1. Pesos estimados pelo modelo Brody, ajustado a dados de pesagens mensais (PM), bimestrais (PB) e trimestrais (PT).

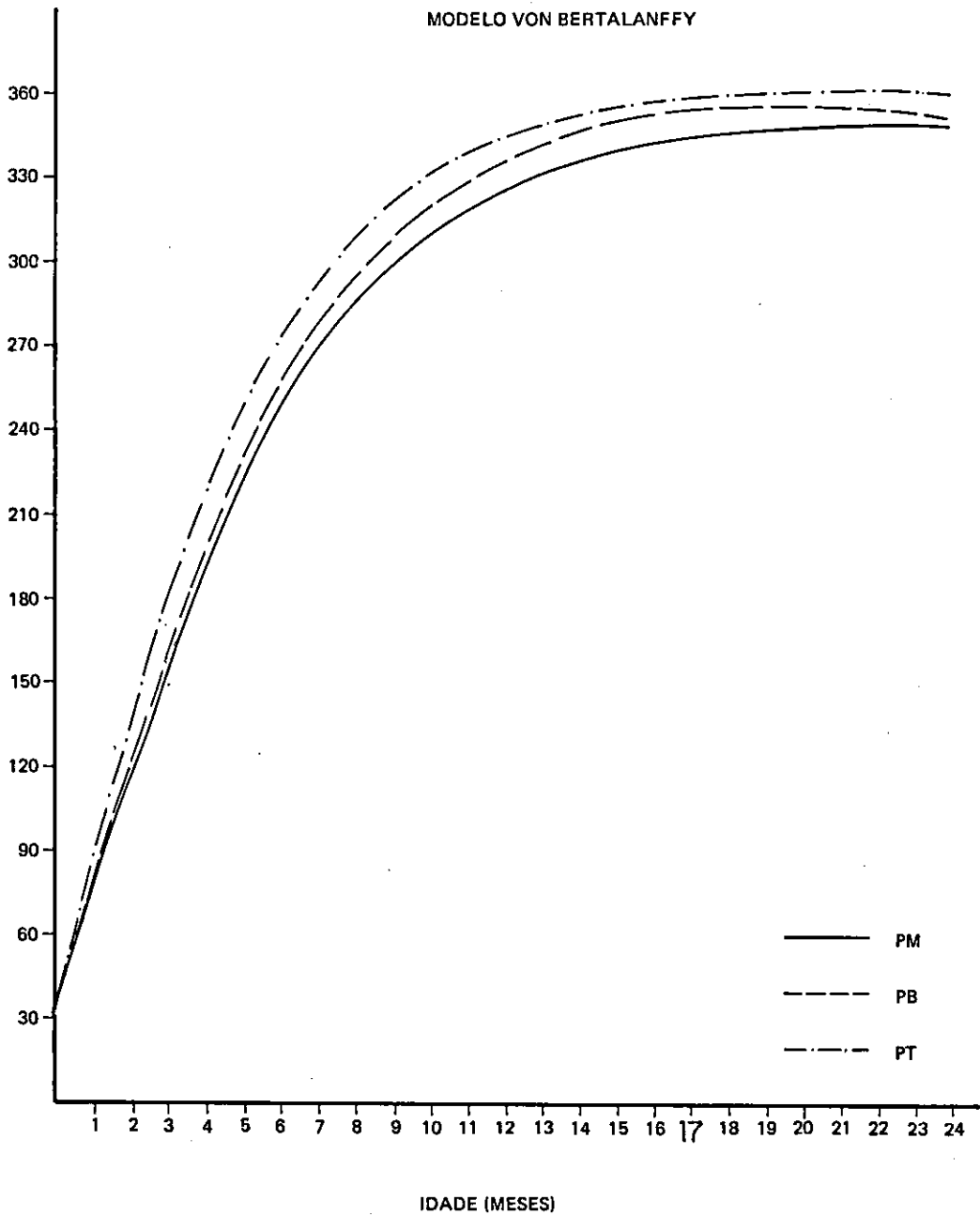


FIG. 2. Pesos estimados pelo modelo von Bertalanffy, ajustado a dados de pesagens mensais (PM), bimestrais (PB) e trimestrais (PT).

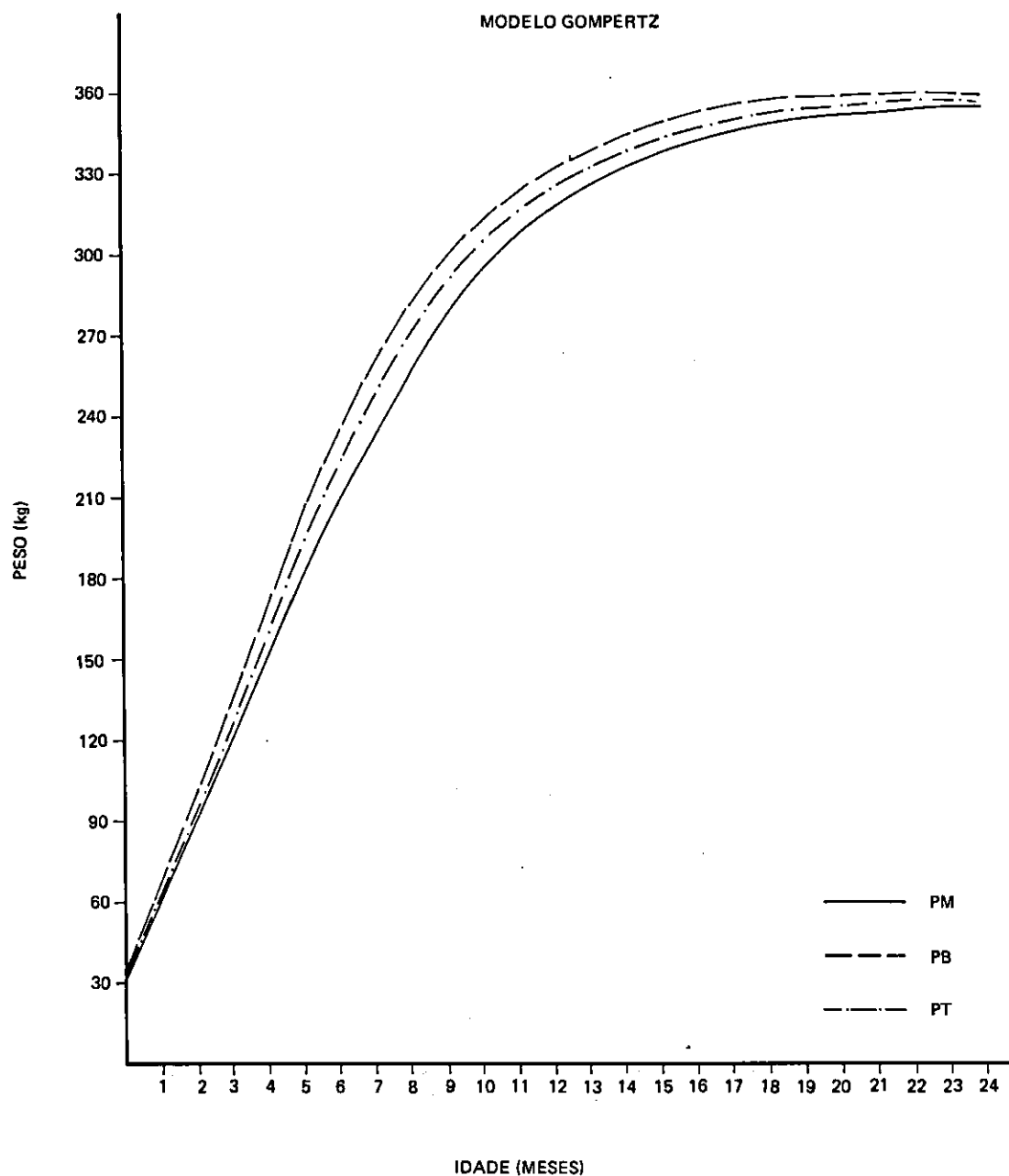


FIG. 3. Pesos estimados pelo modelo Gompertz, ajustado a dados de pesagens mensais (PM), bimestrais (PB) e trimestrais (PT).

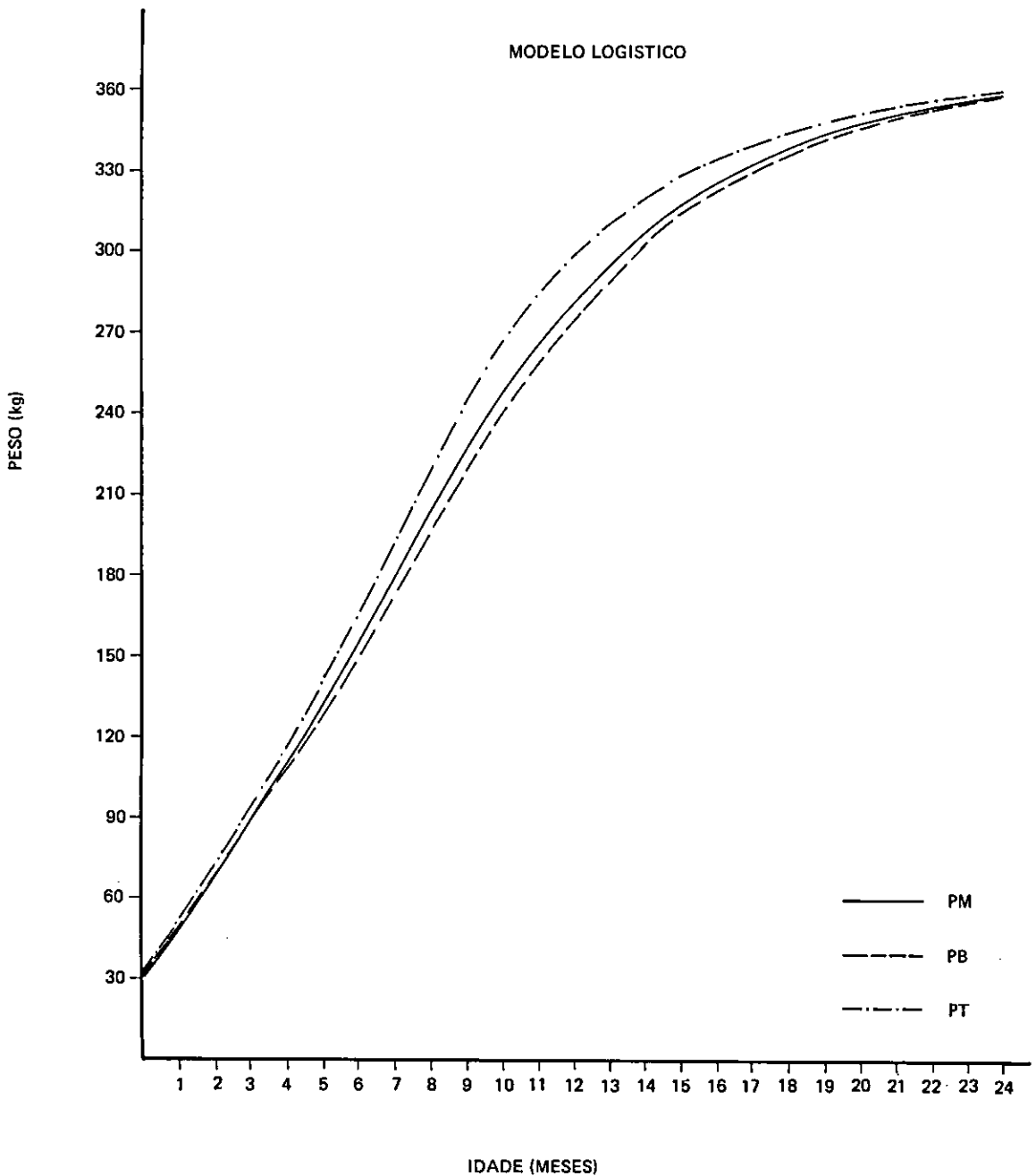


FIG. 4. Pesos estimados pelo modelo Logístico, ajustado a dados de pesagens mensais (PM), bimestrais (PB) e trimestrais (PT).

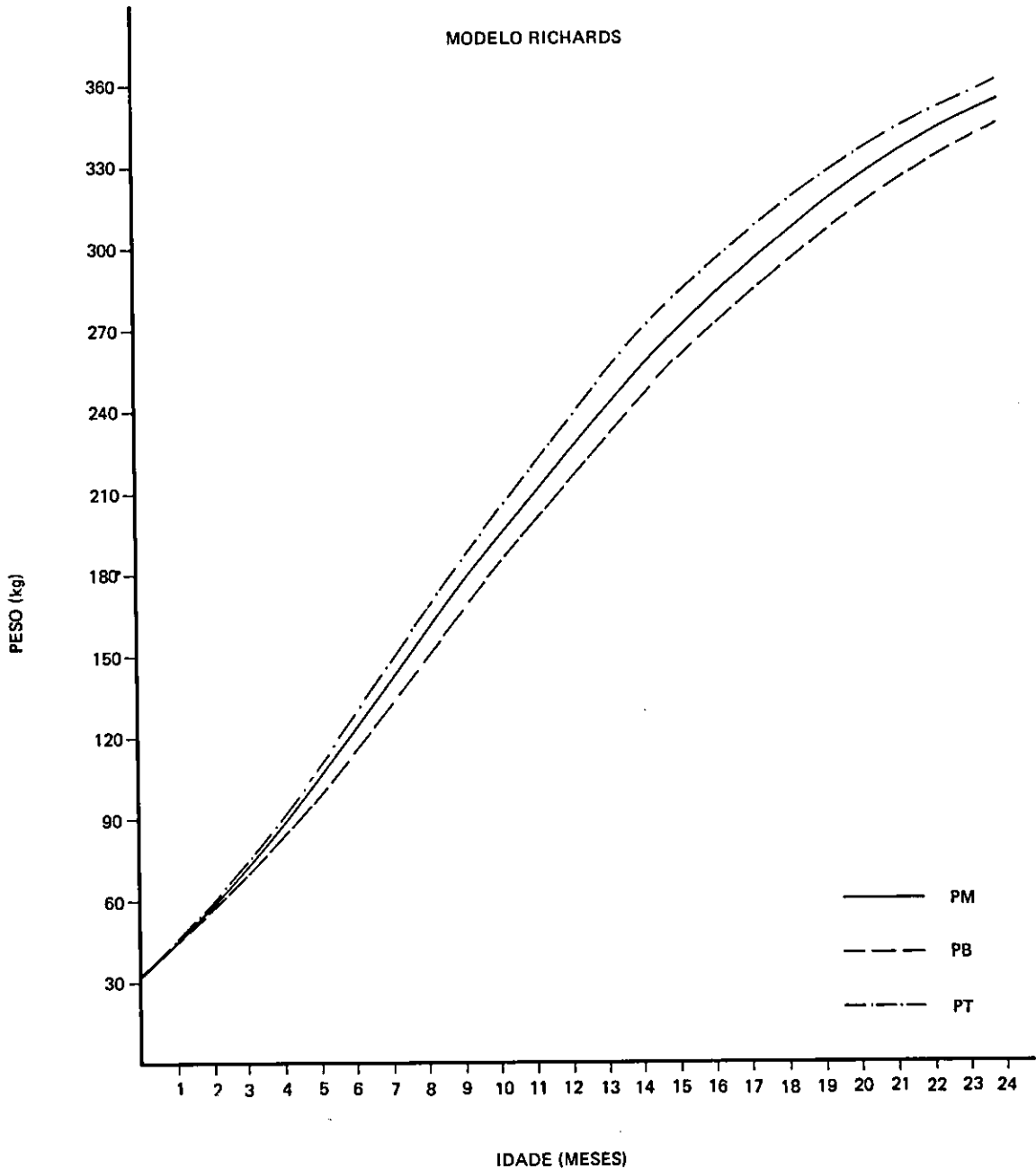


FIG. 5. Pesos estimados pelo modelo Richards, ajustado a dados de pesagens mensais (PM), bimestrais (PB) e trimestrais (PT).

TABELA 3. Equações estimadas de acordo com o modelo de crescimento e freqüências de pesagem.

Modelo	Freqüências de pesagem		
	Mensal	Bimestral	Trimestral
Brody	$529,22 \cdot 498,23 e^{-0,042 t}$	$541,93 \cdot 510,71 e^{-0,041 t}$	$554,83 \cdot 523,10 e^{-0,039 t}$
von Bertalanffy	$350,00(1-0,55 e^{-0,27 t})^3$	$353,51(1-0,56 e^{-0,29 t})^3$	$362,00(1-0,56 e^{-0,31 t})^3$
Gompertz	$30,5 e^{0,6413(1-e^{-0,2608 t})}/0,2608$	$31,2 e^{0,7046(1-e^{-0,2880 t})}/0,2880$	$31,9 e^{0,6563(1-e^{-0,2713 t})}/0,2713$
Logístico	$365,00(1 + e^{-0,2140 t})^{-3,5197}$	$367,00(1 + e^{-0,2087 t})^{-3,4967}$	$364,00(1 + e^{-0,2371 t})^{-3,5212}$
Richards	$414,84(1-0,31 e^{-0,110 t})^7$	$413,85(1-0,31 e^{-0,105 t})^7$	$412,98(1-0,31 e^{-0,118 t})^7$

Em média, no modelo Brody não foi possível estimar os parâmetros para 13, 12 e 9 conjuntos de informações quando se utilizaram os dados das pesagens mensais, bimestrais e trimestrais, respectivamente. Ludwig (1977) cita que uma explicação para este caso deve-se ao fato de que o processo iterativo fornece estimativa do parâmetro K que posiciona o expoente $-kt$ fora do seu intervalo, excedendo a capacidade operacional do computador.

Outros casos de não-convergência foram também verificados nos demais modelos, como também observou Ludwig (1977). Segundo esse autor, estes fatos podem ser explicados em virtude de os animais apresentarem anormalidades nas suas pesagens. No caso específico do modelo Logístico, que ora apresentou "underflow" ora "overflow" em seus ajustamentos, além da limitação do expoente $-kt$, como no modelo de Brody, o termo $(1 + e^{-kt})^{-M}$ é calculado pelo $\ln(1 + e^{-kt})$, possível razão, portanto, da maior dificuldade. Como no modelo Brody, isto pode ser verificado tanto em indivíduos com pesagens normais quanto em animais com irregularidades na série de pontos peso/idade.

As equações estimadas para cada modelo, nas três freqüências de pesagem, são apresentadas na Tabela 3 e ilustradas nas Fig. de 1 a 5. Os modelos von Bertalanffy, Gompertz e Logístico (Fig. 2, 3 e 4) evidenciam um crescimento mais acelerado nos primeiros meses de vida dos animais. Nesta fase, as interpretações com base nas estimativas dos parâmetros destes modelos podem conduzir a valores superestimados de pesos. Além das características inerentes aos modelos, a inclusão de pesagens apenas até os 24 meses de idade, no processo de ajustamento, pode estar contribuindo para

a ocorrência deste fato.

De acordo com as estimativas dos pesos dos animais apresentadas na Tabela 4, os modelos Brody (Fig. 1) e Richards (Fig. 5) apresentaram ajustamentos mais coerentes do ponto de vista biológico. Além disso, estas estimativas estão muito próximas das relatadas por Mariante (1978). Este autor, ao estudar os efeitos de fatores genéticos e de ambiente sobre características de crescimento e utilizando o mesmo conjunto de dados, estimou os pesos ao nascer, aos 8, 12, 18 e 24 meses de idade em 30,2 g, 187,5 g, 215,5 g, 282,6 g e 354,9 kg, respectivamente. Por outro lado, os modelos von Bertalanffy, Gompertz e Logístico superestimaram os pesos dos animais aos 8, 12 e 18 meses de idade, embora as estimativas ao nascer e aos 24 meses sejam semelhantes àquelas obtidas pelos modelos Brody e Richards.

Nas Tabelas 5, 6 e 7 são apresentadas as médias dos coeficientes de determinação, dos desvios-padrão da regressão e do número de iterações, respectivamente, por modelo e freqüências de pesagem.

As médias dos coeficientes de determinação apresentadas na Tabela 5 atestam o bom ajustamento dos cinco modelos nas diferentes freqüências de pesagem. É interessante notar que no caso do modelo Brody tais coeficientes são ligeiramente superiores aos demais, e no modelo Richards houve uma total homogeneidade deste valor. Evidentemente, as somas de quadrados dos desvios foram maiores no modelo Brody e semelhantes no modelo Richards, uma vez que os coeficientes de determinação dependem diretamente das somas de quadrados dos desvios.

Duarte (1975), Silveira Júnior (1976) e Ludwig (1977), também utilizando dados de animais Nelo-

TABELA 4. Estimativas dos pesos dos animais em várias idades de acordo com o modelo de crescimento e freqüências de pesagem.

Idade (meses)	Modelo														
	Brody			von Bertalanffy			Gompertz			Logístico			Richards		
	M*	B*	T*	M	B	T	M	B	T	M	B	T	M	B	T
0	30,9	31,2	31,7	31,9	30,1	30,8	30,5	31,2	31,9	31,8	32,5	31,7	30,9	30,8	30,8
8	173,2	174,0	171,9	287,5	298,3	313,4	262,8	282,2	271,9	203,5	200,7	222,5	158,3	151,2	168,0
12	228,2	229,7	227,2	327,9	335,5	347,5	320,3	333,5	326,5	281,4	278,9	298,3	226,5	217,1	238,9
18	295,3	297,8	295,6	345,5	350,3	359,7	348,7	355,4	351,9	339,0	338,5	346,6	305,4	295,5	317,0
24	347,4	351,0	349,7	349,1	352,9	361,6	355,0	359,4	357,1	357,5	358,6	359,7	354,7	346,4	363,0

* M, B e T = Pesagens mensais, bimestrais e trimestrais, respectivamente.

TABELA 5. Médias dos coeficientes de determinação, de acordo com o modelo e freqüências de pesagem.

Freqüências de pesagem	Modelo				
	Brody	von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Richards
Mensal	98,4	98,3	98,2	98,2	98,2
Bimestral	98,3	98,2	98,1	98,0	98,2
Trimestral	98,4	98,2	98,2	98,1	98,2

TABELA 6. Médias dos desvios-padrão da regressão, de acordo com o modelo e freqüências de pesagens.

Freqüências de pesagem	Modelo				
	Brody	von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Richards
Mensal	29,6	30,6	31,0	31,6	30,8
Bimestral	30,4	31,6	32,2	32,7	31,9
Trimestral	29,9	30,6	32,2	32,6	31,7

TABELA 7. Médias do número de iterações, de acordo com o modelo e freqüências de pesagem.

Freqüências de pesagem	Modelo				
	Brody	von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Richards
Mensal	23,9	14,7	16,0	26,1	17,2
Bimestral	21,8	20,4	21,4	24,7	14,1
Trimestral	22,3	23,8	30,2	24,5	17,6

re, encontraram coeficientes de determinação da mesma magnitude.

Como no caso dos coeficientes de determinação, as estimativas dos desvios-padrão da regressão foram semelhantes nos vários modelos para quaisquer dos intervalos de pesagem utilizados (Tabela 6).

As estimativas dos coeficientes de determinação e dos desvios-padrão da regressão evidenciam a qualidade do ajustamento dessas funções, resultados também constatados por Duarte (1975), Silveira Júnior (1976) e Ludwig (1977), demonstrando a generalidade da aplicação desses modelos.

Constrastando-se as Tabelas 5, 6 e 7 verifica-se

que não houve relação aparente que mostrasse a dependência do número de iterações com os coeficientes de determinação ou desvios-padrão da regressão, fato observado também por Ludwig (1977).

O processo iterativo, em média, foi mais lento no modelo Logístico, nos dados de pesagens mensais, bimestrais e trimestrais, seguido do modelo Brody (Tabela 7). Em média, o modelo Richards convergiu mais rapidamente quando ajustado com frequências de pesagens bimestrais e trimestrais, apresentando maior número de iterações que os modelos von Bertalanffy e Gompertz, quando ajustados para os dados de pesagens mensais.

O grau de proximidade dos valores iniciais com as estimativas a serem obtidas parece não influenciar o número de iterações, fato também constatado por Ludwig (1977).

CONCLUSÕES

1. Com base nas estimativas dos parâmetros: coeficientes de determinação, desvios-padrão da regressão e número de iterações, obtidas pelos modelos Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards, ao serem ajustados aos dados de pesagens mensais, bimestrais e trimestrais, pode-se concluir que não existe diferença nestes ajustamentos para os intervalos de pesagens considerados.

2. Do ponto de vista prático e na dependência do objetivo da experimentação, menor frequência de pesagens poderia reduzir a demanda de tempo e mão-de-obra, quando comparada à prática rotineira de pesagens mensais ou de 28 em 28 dias, sem perda de precisão nas medidas a serem tomadas.

3. Os modelos Brody e Richards apresentaram os melhores ajustamentos, em termos das estimativas dos pesos às várias idades dos animais e dos coeficientes de determinação, embora a convergência no modelo Brody tenha sido mais lenta do que no de Richards.

4. É possível que, dispondo-se de informações até idades mais avançadas fosse estimadas equações que conduzissem a estimativas de pesos ainda mais precisas que as encontradas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- BROWN, J.E.; BROWN, C.J.; BUTTS, W.T. A discussion of the genetic aspects of weight, mature weight and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, 34(4):525-37, 1972.
- BROWN, J.E.; FITZHUGH JUNIOR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.*, 42(4):810-8, 1976.
- DUARTE, F.A.M. Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore através de cinco modelos estocásticos. Ribeirão Preto, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 1975. 284p. Tese Livre Docência.
- EISEN, E.J.; LANG, B.J.; LEGATES, J.E. Comparison of growth functions within and between lines of mice selected for large and small body weight. *Theor. Appl. Genet.*, 39:251-60, 1969.
- FITZHUGH JUNIOR, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.*, 42(4):1035-51, 1976.
- FITZHUGH JUNIOR, H.A. & TAYLOR ST., C.S. Genetic analyses of degree of maturity. *J. Anim. Sci.*, 33(4):717-25, 1971.
- GOODNIGHT, J.H. & SALL, J.P. Statistical analysis system user's guide. Cary, SAS Institute, 1982. p.15-37.
- LAIRD, A.K. & HOWARD, A. Growth curves in inbred mice. *Nature*, 213(5078):786-8, 1967.
- LUDWIG, A. Ajustamento de curvas exponenciais ao crescimento de gado Nelore e análise de seus parâmetros. Viçosa, UFV, 1977, 84p. Tese Mestrado.
- MARIANTE, A. da S. Growth and reproduction in Nelore cattle in Brazil; genetic parameters and effects of environmental factors. Gainesville, University of Florida, 1978. 130p. Tese Doutorado.
- NELDER, J.A. An alternative for a generalized logistic equation. *Biometrics*, 18(4):614-6, 1962.
- NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1):89-110, 1961.
- RALSTON, M.L. & JENNRICH, R.I. "DUD", a derivative-free algorithm for nonlinear least squares. *Technometrics*, 1:7-14, 1979.
- ROSA, A. do N.; SILVA, M. de A.; LUDWIG, A. Parâmetros genéticos e fenotípicos de pesos corporais ajustados pela curva de crescimento de animais da raça Nelore. *R. Soc. Bras. Zoot.*, 7(2):329-45, 1978.
- ROSA, A. do N.; SILVA, M. de A.; MILAGRES, J.C.; GOMES, F.R. Mudança da curva de crescimento de animais da raça Nelore mediante o uso de índices de seleção. *R. Soc. Bras. Zoot.*, 8(4):610-21, 1979.
- SILVEIRA JÚNIOR, P. Estudo de alguns modelos experimentais no crescimento de bovinos da raça Ibagé. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1976. 174p. Tese Mestrado.
- TAYLOR ST. C.S. A relation between mature weight and time taken to mature in animals. *Anim. Prod.*, 7:203, 1965.