



Avaliação de modelos de regressão não linear para descrever a curva de crescimento de ovinos mestiços no Brasil

Gustavo Roberto Dias Rodrigues^{1*}, Mylena Cristina Ribeiro Borges², Camila Raineri³, Gilberto de Lima Macedo Júnior³ e Natascha Almeida Marques da Silva³

¹Discente no Curso de Zootecnia – Universidade Federal de Uberlândia - UFU – Uberlândia/MG – Brasil – *Contato: grdrodrigues@outlook.com

²Zootecnista – Universidade Federal de Uberlândia – UFU – Uberlândia/MG – Brasil

³Docente do Curso de Zootecnia – Universidade Federal de Uberlândia - UFU – Uberlândia/MG – Brasil

INTRODUÇÃO

O crescimento animal se refere às mudanças na massa e no volume de um tecido ou organismo em um determinado período de tempo, e está relacionado tanto a fatores intrínsecos quanto extrínsecos, como a genética e o ambiente¹. Para a produção animal, o crescimento é uma característica crucial, e é importante que os criadores compreendam a relação entre crescimento e idade dos animais para desenvolver estratégias adequadas de alimentação, manejo e reprodução².

Nos últimos anos, pesquisas que avaliam as curvas de crescimento de diferentes espécies animais têm ganhado importância devido ao desenvolvimento de novos métodos computacionais e disponibilidade de modelos a serem testados³. Várias equações não lineares foram propostas para descrever as tendências de crescimento, sendo os modelos de Brody, logístico, von Bertalanffy e Gompertz os mais amplamente utilizados². Esses modelos podem ser utilizados para avaliar parâmetros biológicos, incluindo peso adulto, taxa de ganho de peso e taxa de maturidade².

A aplicação desses modelos de crescimento no campo é essencial para avaliar a produtividade de um rebanho, e animais com taxa de crescimento lenta podem resultar em perdas de produtividade e reduzir a lucratividade do sistema⁴. Além disso, esses modelos podem ser usados na seleção de animais mais apropriados para características específicas (A, B e/ou K) no melhoramento animal². No Brasil, há poucos estudos sobre a curva de crescimento de ovinos, especialmente em sistemas intensivos com clima tropical e com animais mestiços das raças Dorper e Santa Inês (as mais utilizadas no país)⁵. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a curva de crescimento de cordeiros mestiços dessas duas raças utilizando modelos de regressão não linear, a fim de determinar o melhor modelo para descrever o crescimento desses animais com base nas estimativas dos parâmetros do modelo e dos avaliadores de qualidade.

METODOLOGIA

Os dados analisados neste estudo foram obtidos a partir de registros zootécnicos do setor de ovinos e caprinos da Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada na cidade de Uberlândia - MG, Brasil. A região em questão possui latitude de 18°30'25"S, longitude de 47°50'50"O e altitude de 863 metros. Foram selecionados dados de 70 cordeiros mestiços Dorper x Santa Inês, nascidos entre 2016 e 2019, que foram pesados em pelo menos três idades diferentes ao longo do período de observação. As pesagens foram realizadas em diferentes intervalos, e a última pesagem ocorreu quando os animais estavam com idades entre 110 e 199 dias. O peso dos animais em cada uma das idades foi tabulado, e as medidas descritivas correspondentes podem ser encontradas na Tabela 1.

Tabela 1: Peso mínimo, máximo e médio dos cordeiros avaliados durante o nascimento, desmame e última pesagem (Fonte Autoral).

Idade	Peso mínimo	Peso máximo	Peso Médio	Desvio Padrão
Nascimento	2,18	5,98	3,93	0,80
Desmama	5,90	23,57	14,34	4,28
Última pesagem	21,6	54,30	35,56	7,79

O tipo de sistema de produção avaliado era intensivo e semi-confinado. Durante o período de confinamento, os cordeiros foram alojados em baias coletivas de cerca de 20 m² e receberam alimentação por meio de creep feeding desde o nascimento. Após o desmame, a dieta dos animais foi composta por alimentos concentrados (60,00% de milho moído, 36,00% de farelo de soja, 1,00% de ureia e 3,00% de sal mineral) e silagem de milho. O concentrado tinha, aproximadamente, 90,00% de matéria seca, 25,00% de proteína bruta e 82,00% de nutrientes digestíveis totais. A silagem de milho apresentava 30,00% de matéria seca, 7,00% de proteína bruta, 63,00% de nutrientes digestíveis totais e 2,00% de extrato etéreo. Da mesma forma, os cordeiros recebiam suplementação de sal proteinado, em

cocho específico, na dosagem de 20g/kg/dia, e tinham acesso livre à água. Todas as dietas foram formuladas de acordo com as diretrizes do National Research Council⁶ para um ganho de peso médio diário de 300g. Os dados dos animais foram ajustados por meio dos modelos não lineares Brody, Von Bertalanffy, logístico e Gompertz. A tabela 2 contém a descrição das funções utilizadas.

Tabela 2: Modelos não lineares usados para ajuste dos dados (Fonte Sharif et al., 2021; elaborada pelos autores).

Função	Equação
Brody	$y = a(1 - b \exp^{-kt})$
Von Bertalanffy	$y = a(1 - b \exp^{-kt})^3$
Logística	$y = \frac{a}{1 + b \exp^{-kt}}$
Gompertz	$y = ae^{-b \exp^{-kt}}$

Onde y representa o peso corporal na idade t (dia). O parâmetro a é o valor assintótico da função quando t (tempo, idade) tende ao infinito, representando o peso adulto do animal. O parâmetro b , ou constante de integração, não possui interpretação biológica e é utilizado para adequar o valor inicial do peso vivo, nesse caso, o peso ao nascer. O parâmetro k é uma função entre a taxa média de crescimento e o peso adulto do animal, sendo referido como taxa de maturidade.

Para comparar o ajuste dos modelos foram utilizados os seguintes avaliadores de qualidade do ajuste: quadrado médio do erro (QME), coeficiente de determinação (R^2) e porcentagem de convergência. Juntamente com os avaliadores de qualidade de ajuste, para a determinação do melhor modelo foi utilizada a interpretação biológica da média dos parâmetros individuais estimados⁷. A interpretação biológica dos parâmetros estimados também pode ser considerado um avaliador de qualidade de ajuste, uma vez que quanto mais próximos a estimativa dos parâmetros estão da realidade biológica do animal, melhor ajuste possui um modelo.

As curvas de crescimento foram feitas por ajustes individuais. Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio, versão R 4.1.2⁸. As estimativas iniciais, necessárias para a obtenção das estimativas dos parâmetros, foram geradas por meio do método gráfico iterativo para valores iniciais de regressão não linear, utilizando o pacote *manipulate* e função *manipulate()* para cada um dos quatro modelos de regressão não-linear utilizados no presente estudo. Para o ajuste individual de cada animal realizado por cada modelo foi utilizado a função *rp.nls()*. Os avaliadores de qualidade de ajuste foram obtidos pelas estimativas da função *rp.nls()*⁸.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros dos modelos não lineares utilizados (a , b , k) e os indicadores de qualidade (R^2 , QME e % conv) estão apresentados na Tabela 3. Entre os modelos testados, o Logístico foi o que mais acuradamente estimou o parâmetro a , indicando um valor de 48,09 kg. Os demais modelos, por sua vez, apresentaram superestimação do parâmetro. Além disso, o modelo Logístico apresentou o maior valor para o parâmetro k (0,0219), indicando crescimento precoce dos cordeiros. É importante destacar que o modelo Logístico não apenas apresentou a maior taxa de crescimento (k) dos animais, indicando sua capacidade de atingir a maturidade mais rapidamente, mas também evidenciou a importância da precocidade em sistemas de produção de ovinos. A rapidez no desenvolvimento desses indivíduos pode resultar em uma comercialização mais rápida, pois serão abatidos em uma idade mais jovem, permanecendo menos tempo no sistema de produção e, conseqüentemente, reduzindo o custo com insumos⁹. Portanto, a identificação dos parâmetros de crescimento por meio de modelos não lineares pode ser útil na seleção de animais precoces para a produção de ovinos.

XI Colóquio Técnico Científico de Saúde Única, Ciências Agrárias e Meio Ambiente



Tabela 3: Estimativas dos parâmetros a, b e k, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME), percentagem de convergência (% conv) de cada modelo (Fonte Autoral).

Modelos	a	b	k	R^2	QME	%conv
Brody	64,38	0,94	0,0048	0,96	3,36	10,00
Logístico	48,09	8,97	0,0219	0,97	2,76	87,14
Von Bertalanffy	59,67	0,64	0,0093	0,98	1,61	35,71
Gompertz	57,34	2,69	0,0119	0,97	2,27	71,43

a = valor assintótico; b = constante de integração; k = taxa de maturidade; R^2 = coeficiente de determinação; QME = quadrado médio do erro; %conv = percentagem de convergência.

Quanto aos critérios de avaliação de qualidade, todos os modelos elaborados obtiveram um coeficiente de determinação (R^2) superior a 96%, o que indica uma excelente capacidade para prever resíduos e descrever o comportamento dos dados. Em relação ao quadrado médio do erro (QME), o modelo de Von Bertalanffy apresentou o menor valor (1,61), seguido pelos modelos de Gompertz (2,27), Logístico (2,76) e Brody (3,36). No entanto, o percentual de convergência (%conv) é um parâmetro crucial em estudos de curvas individuais de crescimento, uma vez que um modelo com alta qualidade de ajuste e baixa percentagem de convergência significa que há poucos animais ajustados pelo modelo. O modelo Logístico apresentou a maior percentagem de convergência de dados (87,14%), seguido pelos modelos de Gompertz (71,43%), Von Bertalanffy (35,71%) e Brody (10%). Assim, o modelo Logístico obteve o melhor ajuste em relação aos outros, pois apresentou um R^2 adequado, um baixo QME e uma alta percentagem de convergência. Esses achados corroboram com os resultados obtidos por outros autores¹⁰, que também encontraram uma melhor capacidade de previsão do modelo Logístico para estimar o crescimento de ovinos. Além disso, para ilustrar os ajustes dos modelos, foram calculados o peso ao nascer e aos 180 dias de idade pelo modelos de Gompertz, Von Bertalanffy e Logístico. O modelo de Brody não foi representado devido à sua baixa convergência. Para tal fim, foi selecionado o animal 56, uma vez que ele convergiu nos três modelos (Tabela 4).

Tabela 4: Médias estimadas (Est.) e observadas (Obs.) de peso ao nascer (PN, kg) e peso aos 180 dias (P180, kg) referentes ao animal 56, e assíntota (kg) por modelo (Fonte Autoral).

Modelo	PN		P180		Assíntota
	Est.	Obs.	Est.	Obs.	
Gompertz	3,88		41,80		57,35
Von Bertalanffy	2,69	4,63	40,56	50,40	59,68
Logístico	4,82		40,96		48,10

Observou-se que os três modelos obtiveram bons resultados. Porém, o Logístico teve uma maior aproximação do peso ao nascer estimado com o peso observado. Contudo, os valores estimados de peso aos 180 dias se mostraram subestimados em relação ao valor observado para o animal exemplificado. Entretanto, é possível observar em relação ao peso assintótico que o modelo logístico foi que apresentou maior desaceleração do crescimento.

Para melhor visualização desses resultados foi elaborado um gráfico representado pela Figuras 1, onde é possível observar as curvas estimadas dos modelos Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz, além de dois animais, cordeiros 47 e 56, que apresentaram o menor (33,99 kg) e maior peso (50,40 kg), respectivamente. É possível afirmar que os modelos de crescimento analisados apresentaram ajustes similares e tiveram boa aproximação das curvas de crescimento dos animais estudados, principalmente na fase inicial. No entanto, a partir de cerca de 100 dias de vida, marcando o início da puberdade, as estimativas começam a se afastar dos dados observados. A Figura 1 foi limitada até a idade de 199 dias, a idade mais avançada em que um dos animais foi pesado, permitindo observar o distanciamento dos animais em relação às curvas estimadas. É importante ressaltar que modelos de crescimento precisam ser utilizados com cautela, pois superestimativas podem gerar expectativas irrealistas. Porém, eles são ferramentas importantes para auxiliar criadores na seleção de animais superiores em termos de taxa de crescimento e peso adulto, o

que pode levar a uma maior produtividade do sistema por meio da prevalência de cordeiros com maior potencial de ganho de peso em um menor período de tempo.

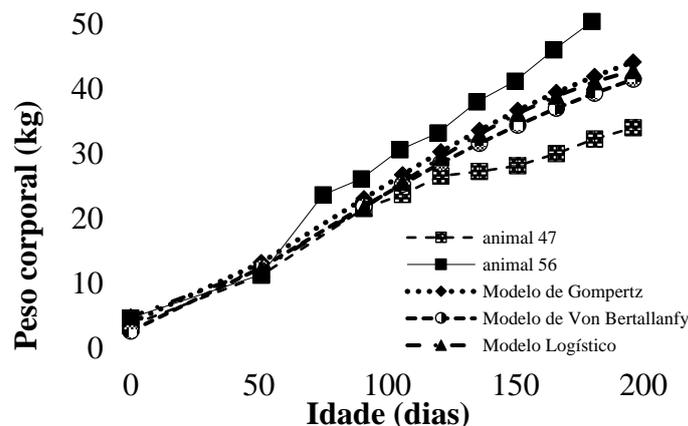


Figura 1: Curvas de crescimento estimadas pelos modelos Gompertz, Von Bertalanffy e Logístico e crescimento dos animais 47 e 56 (Fonte Autoral).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise conjunta dos avaliadores de qualidade e interpretação biológica dos parâmetros do modelo indicam que o modelo logístico foi o mais apropriado para a estimativa da curva de crescimento dos animais avaliados. Este modelo apresentou um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$), o que sugere que é capaz de explicar adequadamente a variação nos dados observados. Além disso, a alta percentagem de convergência (%conv = 87,14%) indica que é robusto e confiável, e o baixo valor de quadrado médio do erro (QME = 2,76) significa que representa um bom ajuste aos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KUCUKONDER, H.; DEMIRARELAN, P.C.; ALKAN, S.; OZGUR, B.B. Curve fitting with nonlinear regression and grey prediction model of broiler growth in chickens. *Pakistan Journal of Zoology*, 52(3), 347-357, 2020.
- SHARIF, N.; ALI, A.; MOHSIN, I.; AHMAD, N. Evaluation of nonlinear models to define growth curve in Lohi sheep. *Small Ruminant Research*, 205, 1-9, 2021.
- HOSSEIN-ZEDH, N.G. Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. *Small Ruminant Research*, 130, 60-66, 2015.
- FARRELL, L.J.; KENYON, P.R.; TOZER, P.R.; RAMILAN, T.; CRANSTON, L.M. Quantifying sheep enterprise profitability with varying flock replacement rates, lambing rates, and breeding strategies in New Zealand. *Agricultural Systems*, 184, 1-11, 2020.
- SELVAGGI, M.; LAUDADIO, V.; D'ALESSANDRO, A.G.; DARIO, C.; TUFARELLI, V. Comparison on accuracy on different nonlinear models in predicting growth of Podolica bulls. *Journal of animal sciences*, 66, 1126-1133, 2017.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of small ruminants. Washington, D. C.: National Academy Press., 362 p, 2007.
- VARANIS, L.F.; SILVA, N.A.M.; TEIXEIRA, A.M. Seleção de modelos não lineares para estimação da curva de lactação de vacas mestiças pelo método de análise de agrupamento. *Caderno de Ciências Agrárias*, 8, 28-37, 2016.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. 2022.
- RAINERI, C.; NUNES, B.C.P.; GAMEIRO, A.H. Technological characterization of sheep production systems in Brazil. *Animal Science journal*, 86, 476-485, 2015.
- FARHADIAN, M.; RAFAT, S.A.; DAVID, I. Determination of the best non-linear function and genetic parameters on early growth in Romane lambs. *Journal of Science and Technologies*, 10, 1-9, 2022.