Capítulo 16

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-16

AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES APLICADOS AO CRESCIMENTO DE BOVINOS DE CORTE

Priscylla de Fátima da Costa Silva; Jeferson Correia Ribeiro ;Sthefany Gonzaga Freitas; Alice Alves Batista Leonardo; Andreia Santos Cesário; Eliandra Maria Bianchini Oliveira; Wallacy Barbacena Rosa dos Santos

**Priscylla de Fátima da Costa Silva – priscyllasilva246@gmail.coml*
**Jeferson Correia Ribeiro – jeferson.ribeiro@ifgoiano.edu.br:*
**Sthefany Gonzaga Freitas – sthefanygtba@gmail.com:*
**Alice Alves Batista Leonardo – alicebatista2806@gmail.com:*
**Andreia Santos Cesário –andreia.cesario@ifgoiano.edu.br:*
**Eliandra Maria Bianchini Oliveira – eliandra.oliveira@ifgoiano.edu.br:*
**Wallacy Barbacena Rosa dos Santos – wallacy.barbacena@ifgoiano.edu.br:*

Resumo: Este estudo teve como objetivo comparar o desempenho de cinco modelos não lineares - Gompertz, Meloun I, Meloun II, von Bertalanffy e Weibull - na descrição do crescimento de bovinos de corte em sistema de confinamento. Foram analisados dados de 6.365 animais, com pesos coletados em diferentes fases produtivas, ajustados por regressão não linear e avaliados pelos critérios: percentual de convergência, coeficiente de determinação (R^2 e R^2 ajustado), média do erro de previsão (MEP), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano (BIC). Os resultados indicaram tendência de redução da variabilidade de peso ao longo do ciclo produtivo, principalmente durante o confinamento, favorecendo a uniformidade do lote. Entre os modelos testados, o de Gompertz apresentou desempenho equilibrado (R^2 = 0,9208; convergência = 85,55%; MEP = 0,5619; AIC = 58,3891; BIC = 78,1959). O modelo de von Bertalanffy obteve maior R^2 (0,9421) e menor MEP (0,3563), mas menor convergência (78,90%). O Weibull destacou-se pelos menores valores de AIC (55,8660) e BIC (76,1417), embora limitado pelo baixo R^2 (0,6021). Já os modelos Meloun I e II apresentaram desempenho insatisfatório, com baixo poder explicativo e altos erros de previsão. Esses resultados reforçam a aplicabilidade e relevância do modelo de Gompertz como ferramenta para o planejamento nutricional, reprodutivo, econômico e de melhoramento genético na pecuária de corte.

Palavras–chave: bovinocultura de corte; confinamento; curvas de crescimento; modelos matemáticos

INTRODUÇÃO

Neste trabalho será abordado o estudo de modelos não lineares em dados de crescimento de bovinos de corte. O confinamento é um sistema de criação no qual os

animais são mantidos em piquetes ou currais, com o intuito de reduzir a necessidade de amplo deslocamento durante a alimentação, otimizando o gasto energético, consequentemente aumentando o ganho de peso. Esse sistema tem se consolidado como uma estratégia fundamental para intensificar a produção e garantir maior eficiência na pecuária de corte.

No confinamento, alimento e água são fornecidos de forma controlada em cochos e bebedouros, garantindo precisão na dieta e atendimento às exigências nutricionais dos animais. Embora seja mais comum na fase de terminação, essa prática também pode ser aplicada a diferentes categorias do rebanho, como bezerros desmamados, novilhos, novilhas e vacas de descarte, até atingir o peso de abate. O confinamento de bovinos designado à produção de carne é definido pela aplicação dos animais em piquetes/baias para engorda, com área reduzida, tendo até mesmo o alimento provido nos cochos de forma controlada (1).

Diferente da terminação a pasto, o confinamento necessita de maior investimento em estrutura e equipamentos. Em compensação, permite um controle mais preciso da alimentação, podendo-se fazer ajustes na dieta. A alimentação concentrada no confinamento influencia positivamente a qualidade sensorial da carne, contribuindo para uma melhor maciez, suculência e palatabilidade do produto final.

Como afirmam Pacheco et al. (2), a terminação em confinamento com dietas de alta densidade energética favorece o desempenho dos animais, promovendo elevados ganhos de peso diário mesmo em períodos curtos de engorda, principalmente em animais mais jovens, o que resulta em cortes mais valorizados.

De acordo com a Embrapa (3) o confinamento se apresenta como uma estratégia para aproveitar a valorização da arroba do boi durante a entressafra, período em que a escassez de pastagens compromete os sistemas extensivos tradicionais. Diversos fatores podem influenciar nos resultados deste modelo de criação de bovinos, como o fator genético por exemplo, que influência diretamente o desempenho no confinamento. Animais mestiços têm maior precocidade e melhor conversão alimentar, podendo alcançar o peso de abate mais cedo que os zebuínos puros. Apesar das vantagens produtivas, o confinamento deve ser planejado com cautela, pois sua viabilidade econômica depende da relação entre os custos de alimentação e o preço da arroba no momento da venda.

Segundo Barros *et al.* (4), os custos elevados associados ao confinamento representam um obstáculo significativo para a pecuária. Diante disso, torna-se essencial encontrar estratégias que viabilizem a implementação desse sistema e contribuam para a melhoria da rentabilidade na produção animal. No entanto, para que os benefícios sejam alcançados, é fundamental que o sistema seja bem planejado. Falhas no dimensionamento das estruturas podem comprometer o desempenho dos animais e causar prejuízos técnicos e econômicos ao produtor (5).

Para conseguirmos dados precisos do crescimento dos bovinos de corte, utilizamos modelos matemáticos que colaboram com a descrição de peso e outras medidas corporais ao longo do tempo. Essas equações matemáticas muitas vezes não lineares ajudam a representar o padrão biológico do crescimento dos animais, que geralmente ocorre de forma sigmoide. O desenvolvimento dos animais é um fator determinante na produtividade dos sistemas de criação, uma vez que está diretamente relacionado à quantidade e à qualidade da carne produzida. Assim, a utilização de curvas de crescimento tem ganhado destaque como ferramenta prática para acompanhar o desenvolvimento dos bovinos e, consequentemente,

melhorar os índices econômicos da atividade pecuária (6).

O crescimento dos animais pode ser representado por uma curva sigmoide, o que permite o uso de modelos não lineares capazes de sintetizar informações de peso, altura e outras características em poucos parâmetros biologicamente interpretáveis. Esses modelos são fundamentais para programas de melhoramento genético e planejamento bioeconômico, já que ajudam a identificar o momento ideal para o abate, quando o animal atinge a maturidade e, após isso, passa a ter alta exigência de manutenção e baixa conversão alimentar (7). Dessa forma é possível estimar parâmetros importantes como peso adulto, a taxa de crescimento e a idade ideal para o abate, contribuindo para o planejamento nutricional, reprodutivo e produtivo do rebanho.

Os modelos não lineares têm se mostrado particularmente úteis na análise de curvas de crescimento de bovinos, devido à sua flexibilidade em lidar com características comuns aos dados de peso-idade, como a irregularidade dos intervalos entre pesagens, a presença de dados incompletos, a forte correlação entre medidas próximas no tempo e o aumento da variância ao longo do desenvolvimento dos animais (8).

A seleção do modelo não linear mais apropriado para descrever o crescimento de animais em função da idade depende de vários fatores, como a raça dos indivíduos, as condições ambientais em que são criados, a idade nas últimas pesagens e as próprias características do modelo matemático utilizado (7).

O conhecimento sobre o crescimento animal é essencial para programas de melhoramento genético, pois permite estimar características como a taxa de crescimento, ganho de peso e precocidade. Essas informações possibilitam selecionar animais com maior desempenho produtivo, contribuindo para avanços na eficiência do rebanho (9). Embora no Brasil existam poucos estudos que acompanhem os pesos dos zebuínos durante todo o ciclo de sua vida, o que dificulta a definição de um padrão de crescimento dessa raça.

Dessa forma, nosso principal objetivo é comparar o desempenho de modelos de não lineares em dados de crescimento de bovinos de corte, com o intuito de auxiliar na escolha do modelo que melhor represente o desempenho produtivo dos animais em diferentes fases de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados neste estudo foram coletados em uma fazenda parceira que mantém bovinos de corte em sistema de confinamento. A base de inicial continha registros de 6.940 animais válidos para análise. Contudo, foi realizada uma etapa de triagem e limpeza para garantir a qualidade dos dados utilizados na análise. Foram removidos os registros de animais sem dados de pesagem, o que inviabilizou sua utilização no ajuste dos modelos. Após essa filtragem, o número final de animais válidos para análise foi de 6.365. A base final incluiu dados de pesos corporais coletados em diferentes idades durante o período de confinamento.

Foram testados cinco modelos não lineares amplamente utilizados na descrição do crescimento animal: Gompertz, Meloun 1, Meloun 2, von Bertalanffy e Weibull, escolhidos por sua flexibilidade e parâmetros biologicamente interpretáveis.

A estimação dos parâmetros foi realizada por regressão não linear, via método de

mínimos quadrados. A estimação dos parâmetros foi realizada por regressão não linear via método dos mínimos quadrados, com comparação baseada em critérios estatísticos: % de convergência, coeficiente de determinação (R^2), R^2 ajustado, erro médio de previsão (MEP), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC). O ajuste dos modelos e a aplicação do teste de identidade foram realizados pelo método de Marquardt, que combina a estabilidade do gradiente descendente com a eficiência do método de Gauss-Newton, garantindo maior robustez na convergência. As análises foram conduzidas no **software SAS® (versão 9.2)**, por meio do procedimento PROC MODEL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos pesos corporais ao longo das diferentes fases de crescimento dos bovinos permite compreender o desempenho produtivo dos animais e verificar o grau de uniformidade do rebanho. Na **Tabela 1**, são apresentados os valores de média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para os pesos ao nascimento (PN), à desmama (PD), na saída do sequestro (PS), na entrada do confinamento (PE) e no abate (PA).

Tabela 1 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos pesos corporais em diferentes fases de desenvolvimento

Variáveis	PN	PD	PS	PE	PA
Média	30,00	213,48	296,73	346,41	551,94
DP	0,00	41,09	56,25	41,13	59,33
CV	0,00	19,25	18,96	11,87	10,75

Onde DP = desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; PN = peso ao nascer; PD = peso à desmama; PS = peso na saída do sequestro; PE = peso na entrada do confinamento; PA = peso de abate.

Observa-se que o peso médio ao nascimento considerado, foi de 30 kg, com desvio padrão e coeficiente de variação nulos. Isto se deve ao fato da fazenda não coletar o peso ao nascimento, devido ao manejo adotado. Portanto, para fins de comparação entre os pesos de nascimento e os demais registros de pesos, fora adotado um valor padrão como suporte para estimação dos parâmetros.

Na desmama, o peso médio observado foi de 213,48 kg, com desvio padrão de 41,09 kg e coeficiente de variação de 19,25%. Esses valores indicam uma variação moderada entre os animais, possivelmente decorrente de fatores como tipo de alimentação, genética ou manejo individual. Já na saída do sequestro, a média de peso foi de 296,73 kg, com desvio padrão de 56,25 kg e CV de 18,96%, revelando variações similares às da fase anterior, ainda que com maior dispersão absoluta dos dados. Essa manutenção da variabilidade sugere que o sequestro contribuiu para o ganho de peso, mas não reduziu significativamente a dispersão entre os animais.

Na entrada do confinamento, a média foi de 346,41 kg, com desvio padrão de 41,14 kg e coeficiente de variação de 11,87%, indicando uma redução na variabilidade. Isso pode ser atribuído à uniformização dos lotes antes do início da fase intensiva, o que é desejável para facilitar o manejo nutricional e sanitário no confinamento.

Por fim, o peso médio na saída do confinamento foi de 551,94 kg, com desvio padrão de 59,33 kg e CV de 10,75%. A redução do coeficiente de variação ao final do ciclo produtivo demonstra um ganho de uniformidade entre os animais, o que é desejável em sistemas de terminação intensiva e contribui para padronização de carcaças e melhores

resultados econômicos.

De forma geral, observa-se uma tendência de redução no coeficiente de variação ao longo do tempo, especialmente nas fases mais controladas do sistema produtivo, como confinamento. Essa homogeneização é desejável, pois facilita o planejamento de abate e comercialização dos animais.

Os parâmetros estimados para cada modelo, segundo os modelos estudados, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros estimados para os modelos não lineares de crescimento ajustados aos dados dos bovinos confinados

Modelo	%C	R^2	R^2_{aj}	MEP	AIC	BIC
Gompertz	85,5459	0,9208	0,9207	0,5619	58,3891	78,1959
von Bertalanffy	78,9002	0,9421	0,9420	0,3563	56,8880	76,4528
Meloun I	100,0000	0,0240	0,0236	1,3686	71,6120	91,8877
Meloun II	51,3904	0,6718	0,6716	3,1097	65,0494	83,3279
Weibull	100,0000	0,6021	0,6019	2,7883	55,8660	76,1417

Onde %C = porcentagem de convergência; R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; MEP = média do erro de previsão; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de informação bayesiano.

O modelo de Gompertz apresentou desempenho satisfatório na maioria dos critérios, destacando-se como o mais equilibrado. Obteve 85,55% de convergência, R^2 de 0,9208 e R^2aj de 0,9207, indicando excelente capacidade de explicação da variação nos dados. Embora não tenha atingido os melhores valores absolutos em todos os critérios, seus resultados foram consistentes. O MEP foi de 0,5619, e os critérios AIC (58,3891) e BIC (78,1959) demonstraram razoável eficiência, ainda que não tenham sido os mais baixos entre os modelos.

O modelo de von Bertalanffy apresentou o maior R^2 (0,9421) e o menor MEP (0,3563), indicando elevado poder explicativo e **boa capacidade de previsão**. No entanto, sua taxa de convergência foi inferior à do Gompertz (78,90%), e o BIC (76,4528) também não foi o mais baixo, o que pode sugerir maior complexidade de ajuste.

O modelo Weibull apresentou convergência total (100%) e os menores valores de AIC (55,8660) e BIC (76,1417), sendo o modelo com melhor equilíbrio entre ajuste e simplicidade. Apesar disso, apresentou valores intermediários de R^2 (0,6021) e MEP (2,7883), o que limita sua aplicabilidade para representar com precisão o crescimento dos animais.

Os modelos Meloun I e II apresentaram limitações evidentes. O Meloun I, embora tenha atingido 100% de convergência, apresentou R^2 e R^2_{aj} extremamente baixos (0,0240 e 0,0236), além de um alto MEP (1,3686), o que inviabiliza seu uso. O Meloun II, por sua vez, obteve o pior desempenho em termos de convergência (51,39%) e apresentou os maiores erros de previsão (MEP de 3,1097), ainda que seu R^2 (0,6718) tenha sido superior ao do Weibull.

Portanto, embora o modelo de von Bertalanffy tenha apresentado valores superiores em R^2 e MEP, e o Weibull tenha demonstrado maior eficiência, o modelo de Gompertz foi considerado o mais adequado para descrever o crescimento dos animais neste estudo, por apresentar um bom equilíbrio entre ajuste, simplicidade e estabilidade de convergência.

Esses resultados estão em coerência com as pesquisas de outros autores na literatura. Estudo realizado por Souza et al. (10), que avaliou cinco modelos não lineares - incluindo o de Gompertz - para descrever o crescimento de bovinos da raça Indubrasil criados a pasto no estado de Sergipe, apresentou resultados compatíveis com os obtidos no presente trabalho. Embora o modelo Logístico tenha se destacado naquele estudo, o modelo de Gompertz apresentou desempenho satisfatório, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,957 e 94% de convergência, o que evidencia sua boa capacidade de ajuste e estabilidade. **Esses dados ressaltam a eficiência e a fundamentação biológica** do modelo de Gompertz, tanto em sistemas extensivos quanto intensivos de produção, confirmando sua adequação para representar o crescimento de bovinos em diferentes condições de manejo (10).

Além disso, resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (7) também relataram resultados compatíveis ao avaliarem curvas de crescimento em vacas de corte de distintos tipos biológicos, comparando cinco modelos não lineares, entre eles os modelos de Gompertz, Brody e von Bertalanffy. Apesar do destaque para o modelo de Brody ponderado pelo inverso da variância, o modelo de Gompertz demonstrou desempenho consistente, reforçando sua aplicabilidade em diferentes sistemas de criação e grupos genéticos. Além disso, o modelo de von Bertalanffy - que, no presente estudo, apresentou o maior R^2 e o menor erro de predição - também exibiu boa capacidade de ajuste no estudo de Silva et al. (7), sobretudo quando se considerou a ponderação pela variância. Esses resultados indicam que tanto o modelo de Gompertz quanto o de von Bertalanffy apresentam **alta estabilidade e boa capacidade de ajuste**, sendo a escolha entre eles dependente do tipo de dado, do grupo genético analisado e dos objetivos da pesquisa (7).

Com base nos critérios de convergência, ajuste (R^2 e R^2aj), precisão preditiva (MEP) e eficiência do modelo (AIC e BIC), o modelo de Gompertz destacou-se por seu desempenho equilibrado, apresentando elevada capacidade explicativa ($R^2 = 0,9208$), boa estabilidade de convergência (85,55%) e níveis aceitáveis de erro e complexidade, sendo considerado o mais adequado para representar o crescimento dos animais.

O modelo de von Bertalanffy apresentou o maior R^2 (0,9421) e o menor MEP (0,3563), demonstrando excelente ajuste e poder preditivo, embora com menor taxa de convergência. Já o modelo Weibull mostrou-se o mais eficiente, com 100% de convergência e os menores valores de AIC e BIC, mas limitado por sua menor capacidade explicativa ($R^2 = 0,6021$). Os modelos Meloun I e II apresentaram desempenho inferior, com baixo R^2 e altos erros de previsão, não sendo recomendados para este tipo de análise.

A avaliação estatística dos pesos corporais nas diferentes fases do ciclo produtivo revelou uma tendência de redução na variabilidade dos animais ao longo do tempo, especialmente durante o confinamento. Essa homogeneização do lote é desejável em sistemas intensivos, pois contribui para facilitar o manejo nutricional e sanitário, além de promover padronização de carcaças e maior eficiência econômica na terminação.

Esses resultados estão em consonância com resultados prévios da literatura, como os de Souza et al. (10) e Silva et al. (7), reforçando a eficácia, aplicabilidade e relevância biológica do modelo de Gompertz em distintos sistemas produtivos. Ressalta-se, contudo, que a escolha do modelo mais adequado deve levar em conta não apenas os indicadores estatísticos de ajuste, mas também as características específicas do rebanho, as práticas de manejo adotadas e os objetivos da pesquisa, de modo a garantir interpretações mais precisas e aplicabilidade prática dos resultados.

Assim, a aplicação de modelos não lineares, em especial o de Gompertz, mostra-se uma ferramenta precisa e eficiente para descrever o crescimento de bovinos de corte em confinamento, fornecendo parâmetros consistentes e biologicamente interpretáveis. Esses

resultados são fundamentais para o planejamento nutricional, reprodutivo e econômico, além de subsidiar programas de melhoramento genético e estratégias de abate otimizadas, contribuindo para maior eficiência e sustentabilidade nos sistemas de produção.

CONCLUSÕES

O modelo de Gompertz foi o mais adequado para descrever o crescimento de bovinos de corte em confinamento, apresentando desempenho consistente nos critérios de ajuste, simplicidade e estabilidade. Destacou-se pela elevada capacidade explicativa ($R^2 = 0,9208$), boa taxa de convergência (85,55%) e erro reduzido, confirmando sua eficiência estatística e coerência biológica. Esses resultados reforçam sua aplicabilidade prática na pecuária de corte, possibilitando estimativas confiáveis para o planejamento nutricional, reprodutivo e econômico, além de oferecer suporte a programas de melhoramento genético e estratégias de manejo mais eficientes.

REFERÊNCIAS

1. Peixoto AM, Moura JC, Carvalho LAC. Confinamento de bois. Rio de Janeiro: Globo; 1989.
2. Pacheco PS, Restle J, Vaz FN, Rosa JPR, Brondani IL, Vaz RZ, et al. Composição física da carcaça e qualidade da carne de novilhos jovens e superjovens de diferentes grupos genéticos. Rev Bras Zootec. 2005;34(5):1691–703.
3. Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Engorda de bovinos em confinamento: aspectos gerais [Internet]. Campo Grande (MS): Embrapa Gado de Corte; 1996 [acesso em 2025 Jul 14]. (Documentos, 64). Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc64/01introducao.html
4. Barros MCC, Eifert EC, Silva FAP, Lage JF, Pacheco PS, Pereira MLA, et al. Viabilidade econômica do uso da glicerina bruta em dietas para cordeiros terminados em confinamento. Semin Ciênc Agrár. 2015;36(1):443–52.
5. Dias Filho A. Técnicas aplicadas para o confinamento de bovinos [trabalho de conclusão de curso]. Palmas (TO): Centro Universitário Luterano de Palmas; 2011.
6. Silva NAM, Lôbo RB, Oliveira HN. Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça Nelore. Ciênc Agrotec. 2004;28(3):647–54.
7. Silva FL, Malhado CHM, Carneiro PLS, Souza AAO, Affonso PRAM. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. Pesq Agropec Bras. 2011;46(3):262–71.
8. Freitas AR. Curvas de crescimento na produção animal. Rev Bras Zootec. 2005;34(3):786–95.
9. Lôbo RN, Oliveira SM, Figueiredo LGG, Ribeiro MN, Facó O, McManus C. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. Rev Bras Zootec. 2006;35(3):1012–9.
10. Souza LA, Sarmento JLR, Pimenta Filho EC, Ribeiro MN, Martins GA, Lopes PS. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. Rev Ciênc Agron. 2010;41(4):671–6.