

EMANUELA COSTA FERNANDES

CURVA DE CRESCIMENTO DE NOVILHAS HOLANDESAS

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

EMANUELA COSTA FERNANDES

CURVA DE CRESCIMENTO DE NOVILHAS HOLANDESAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

F363c
2013
Fernandes, Emanuela Costa, 1984-
Curvas de crescimento de novilhas holandesas / Emanuela
Costa Fernandes. – Viçosa, MG, 2013.
ix, 31f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Marcos Inácio Marcondes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 26-31.

1. Holandês (Bovino) - Crescimento. 2. Holandês (Bovino)
- Peso. 3. Novilho. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação
Mestrado Profissionalizante em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.2

EMANUELA COSTA FERNANDES

CURVA DE CRESCIMENTO DE NOVILHAS HOLANDESAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 24 de julho de 2013.

Sebastião de Campos Valadares Filho

Antônio Policarpo Souza Carneiro

Marcos Inácio Marcondes
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas mais presentes em minha vida:

Meu pai, o mais generoso de todos os pais.

Minha mãe, exemplo de mulher forte, batalhadora e fiel.

Meus irmãos Walberto, Walkíria, Marina, Alice, Aline e Alberto.

Meu grande amor, Daniel, pela paciência, dedicação e exemplo.

Felipe, meu maior PRESENTE.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amar sem motivos e colocar pessoas especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta.

Aos meus pais Manuel e Sueli, meu infinito agradecimento. Sempre mostrando o correto e o justo, o certo ou o errado. Sempre cuidando de longe, porem perto o suficiente para ajudar a sarar qualquer dodói. Obrigada pelo amor incondicional.

A meu amado esposo, Daniel, por ser tudo o que falta em mim. Sempre aomeu lado me fazendo acreditar que posso mais do que imagino. Devido a seu companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado. Obrigada por ter feito do meu sonho o nosso sonho!

Ao pequenoFelipe, que, nos últimos meses, está tão próximo (literalmente) de mim e me inspira a querer ser mais que fui até hoje.

A minha sogra, Bernardete, por me acolher e dar todo apoio necessário nas idas e vindas de Cruzeiro do Sul á Belo Horizonte/Viçosa. Obrigada pelo carinho.

A professora, Ana Lúcia Salaro, por me receber em sua casa e oferecer apoio, conversas, caminhadas, jantares e descontração nas semanas de aulas. Descobri uma mulher incrivelmente forte, determinada, inteligente e ao mesmo tempo doce e frágil. Foi muito bom te conhecer e poder contar com você.

A meus colegas do mestrado, pelos momentos divididos juntos, especialmente ao Julio e ao Napier pelos quilômetros rodados e risadas dos causos.

Agradeço a imensidão de tios, tias, primos e primas que tenho e em especial á Irá, Montanha, Bruna, Vinícius, Rita, Graça e Maria pelo apoio e exemplo.

Ao meu orientador Marcos Marcondes, pela paciência, tempo e mil ajudas despendidas a mim. Sem você não iria dar certo!

E finalmente agradeço á UFV, e todos os membros do DZO, que acreditaram no mestrado profissional tornando realidade, não só o meu sonho, mas de vários outros colegas de profissão dando-nos a oportunidade de sermos MESTRES. Muitíssimo obrigada.

O ser humano não aguenta ficar sozinho
Ninguém foi feito para viver só.
Ninguém é feliz sozinho.
Ninguém vence sozinho.
OBRIGADA A TODOS!!!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Curvas de Crescimento	4
1.2. Modelos de regressão não lineares	5
2. OBJETIVOS	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

RESUMO

FERNANDES, EmanuelaCosta, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Curva de crescimento de novilhas Holandesas.** Orientador: Marcos Inácio Marcondes. Coorientador: Fabyano Fonseca e Silva.

O presente trabalho foi conduzido para avaliar a curva de crescimento de novilhas Holandesas. Foram obtidas 839 medidas de peso e altura de novilhas criadas no Setor de Gado de Leite do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, MG. A coleta de dados foi realizada a cada 30 dias. Os animais foram criados em sistema confinado, com alimentação de cana de açúcar e silagem de milho, recebendo diariamente 1 kg de concentrado. A relação entre peso vivo e idade de novilhas foi descrita por meio de quatro diferentes modelos não lineares: Brody: $\text{Peso} = A \times (1 - be^{-kt})^3$; Gompertz: $\text{Peso} = A \times \exp(-be^{-kt})$; Logístico: $\text{Peso} = A \times (1 + be^{-kt})^{-1}$; Von Bertalanffy: $\text{Peso} = A \times (1 - be^{-kt})$, onde: A = representa o peso adulto; k = taxa de maturidade, ou velocidade de crescimento; b = constante matemática, sem definição biológica; t = idade em dias. O modelo de estimação do peso corporal a partir da altura de cernelha foi testado com o conjunto geral de dados, i.e., utilizando as 839 medidas, e também analisou-se separadamente as categorias de peso: 0-500 kg; 0-400 kg; e 0-300 kg, as quais continham, respectivamente, 770, 647 e 530 observações. Foi realizada uma avaliação da relação peso/altura em função da idade utilizando-se uma regressão linear simples. Foram ajustados os modelos Heinrichs e exponencial para descrever o peso das novilhas em função da altura da cernelha. Todos os modelos foram ajustados por meio do software SAS[®] usando os procedimentos MODEL, NLIN e GLM. Em relação ao ajuste dos modelos não lineares, o modelo Logístico apresentou melhor resultado, resultando nas seguintes estimativas para os parâmetros: peso à maturidade de 615 kg, taxa de maturidade de 0,0056 e maturidade sexual com cerca de 307 kg. A estabilização da altura de cernelha ocorreu na idade de 632 dias (21 meses a uma altura de 138 cm). O modelo exponencial apresentou melhores resultados em relação ao modelo Heinrichs, portanto foi escolhido para descrever a relação entre altura de cernelha e peso

corporal. A equação estimada para este modelo foi dada por: $\text{Peso} = 4,3577 \times \text{EXP}(0,0343 \times \text{ALT})$, onde ALT é altura de cernelha. O uso de medidas corporais, como altura de cernelha, para estimar o peso corporal de novilhas Holandesas pode ser realizado até a idade de 21 meses, possibilitando aos pequenos produtores rurais, que não possuem balança, a acompanhar o desenvolvimento ponderal de suas novilhas.

ABSTRACT

FERNANDES, Emanuela Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Growth curve of Holstein heifers.** Adviser: Marcos Inácio Marcondes. Co-Adviser: Fabyano Fonseca e Silva.

This study aimed to evaluate the growth curve of Holstein heifers. For this purpose, 839 weight and height measurements of heifers raised in Animal Science Department of Federal University of Viçosa was collected. Data collection was performed every 30 days in confined animals fed with sugarcane and corn silage, receiving on average 1 kg / head / day of concentrate. The correlation between body weight and age of heifers was describe by four nonlinear models: Brody: $Weight (W) = A \times (1 - be^{-kt})^3$; Gompertz: $W = A \times \exp(-be^{-kt})$; Logistics: $W = A \times (1 + be^{-kt})^{-1}$; Von Bertalanffy: $W = A \times (1 - be^{-kt})$, where A = represents the adult weight; k = maturity rate; b = mathematical constant, no biological definition; t = age in days. The estimation model of body weight from the wither height was tested using the general dataset, i.e., using 839 measurements, and separately analyzed different weight categories: 0-500 kg; 0 -400 kg and 0-300 kg, which contained, respectively, 770, 647 and 530 observations. The weight / height ratio was evaluated as function of age, adjusted a simple linear regression in function of age. Was adjusted Heinrichs and exponential models to describe the weight of heifers in function of wither height. All models were fitted using SAS[®] software using MODEL, NLIN and GLM procedures. Regarding the setting of nonlinear models, the Logistic model showed better results, resulting in the estimates for the parameters: mature weight of 615 kg, maturity rate of 0.0056 and sexual maturity at about 307 kg. The wither height stabilization occurred at the age of 632 days (21 months at a height of 138 cm). Exponential model showed better results compared to Heinrichs model, therefore was chosen to describe the correlation between wither height and body weight. An estimated equation for this model was given by: $Weight = 4.3577 \times EXP(0.0343 \times ALT)$, where ALT = wither height. The use of body measurements as wither height to estimate body weight of Holstein heifers can be performed until the age of 21 months, allowing small farmers, who do not have scales to monitor the development of the heifers.

1. INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira nacional sofreu profundas modificações a partir de 1991, com o fim do tabelamento de preços e, posteriormente, em 1994, com a estabilização da moeda brasileira. Essas alterações criaram uma nova dinâmica para os produtores de leite: fatores externos à propriedade rural passaram a influenciar diretamente a rentabilidade da atividade leiteira, como preço de *commodities*, variação cambial, taxa de juros nacional, entre outras (Moreira, 2012).

Nesse cenário, o maior controle da produção constitui ferramenta fundamental para alcançar o sucesso da empresa rural. No entanto, apenas 1,4% das fazendas produtoras de leite no Estado de Minas Gerais (maior produtor nacional) possuem acompanhamento técnico gerencial (Gomes, 2005), refletindo, de maneira geral, na baixa tecnificação e eficiência produtiva dos sistemas de produção no Brasil.

Dentre os parâmetros de controle, o acompanhamento do peso vivo dos animais ao longo de seu crescimento resulta em importantes informações para o pecuarista, permitindo a seleção de animais mais produtivos, precoces e longevos, ou seja, geneticamente superiores. Tais informações, quando correlacionadas com a idade dos animais, geram as chamadas curvas de crescimento, criando dados biologicamente interpretáveis oriundos de informações de toda a vida do animal (Laird e Howard, 1967). Isso possibilita a criação de modelos de simulação para estimar a composição corporal do animal a qualquer ponto do crescimento, sendo necessárias apenas as informações de crescimento e composição corporal inicial do animal (Keele et al. 1992; Williams et al. 1992), podendo-se predizer as exigências nutricionais dos animais, aumentando assim a eficiência alimentar do rebanho.

Acrescido a isso, o conhecimento das curvas de crescimento auxilia programas de melhoramento genético para seleção de animais com maior produção, menor custo e menor tempo para atingir determinado peso (Bergamasco et al. 2001). Segundo Tedeschiet al. (2000), em uma mesma situação ambiental, é possível obter prognósticos futuros para animais ou grupo de animais a partir de informações descritivas presentes na curva de

crescimento. Por meio dessas simulações, possibilita-se a seleção de animais com altas ou baixas taxas de crescimento relativo ao peso adulto, ou taxas de maturidade. A precocidade é característica de animais que apresentam alta taxa de maturidade (Tedeschiet al. 2000).

A maturidade de bovinos é alcançada quando os animais atingem a máxima deposição em matéria desengordurada (soma de proteína, água e cinzas), significando que o ganho de peso passaria a ser exclusivamente em gordura (Fox e Black, 1984; Owens et al. 1995). A taxa de maturidade ou taxa de maturação corresponde à relação entre o peso adulto e ganho de peso mensal do animal. Segundo Brown e Brown (1972), fêmeas com altas taxas de maturidade possuem menores custos e geralmente são mais eficientes energeticamente, quando comparadas a um mesmo peso adulto.

Coelho et al. (2009) analisaram as relações entre a curva de crescimento e a eficiência produtiva de fêmeas Holandesas pertencentes à Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, concluindo que o peso à maturidade e a taxa de maturidade influenciaram a eficiência produtiva dos animais. Segundo os autores, fêmeas com maior taxa de maturidade apresentam menor idade ao primeiro parto, maior produção de leite, maior duração da primeira lactação e maior longevidade.

Para obtenção da curva de crescimento das fêmeas leiteiras, são necessárias pesagens periódicas dos animais do rebanho, mas poucas são as propriedades rurais que possuem estrutura física e tecnológica para mensuração dos pesos dos animais. Além disso, o uso do peso vivo de novilhas como único critério para definição de animais geneticamente superiores tem limitações (Hoffman, 1997). Segundo o autor, os dados de peso vivo de novilhas são colhidos nos períodos pré e pós parto, sendo que no período pré parto o peso vivo da novilha é superestimado pelo peso do feto e dos tecidos fetais; e no período pós parto, o peso vivo é influenciado pela produção de leite, sistema gastrointestinal e perda de peso decorrente do balanço energético negativo no qual a primípara submete-se.

Nesse cenário, torna-se viável a investigação de metodologias que facilitem a seleção de animais a partir de dados confiáveis e de fácil obtenção,

como altura de cernelha e comprimento corporal, alternativas diferentes da tradicional mensuração do perímetro torácico (Heinrichset al. 1992).

Markusfeld e Ezra (1993) observaram que a análise dos dados de altura de cernelha de novilhas Holandesas ao primeiro parto ajustaram modelos melhores para o pico de produção de leite e produção de leite na primeira lactação do que o peso corporal. Sieberet al. (1988) também observaram resultados semelhantes, verificando que a correlação entre medidas corporais foram mais significativas que o peso corporal para estimar a produção de leite na primeira lactação.

Tal fato pode ser explicado pela maior variação do peso corporal em função de características ambientais, sofrendo flutuações periódicas de valores (Madureira et al. 2002). Mensurações lineares de medidas esqueléticas, como altura de cernelha, permitiriam coleta de informações mais precisas e confiáveis do tamanho dos animais (Cartwright, 1979). As medidas corporais lineares apresentam maior repetibilidade que o peso corporal, pois neste há influencia do conteúdo gastrointestinal e dos níveis de hidratação, variáveis a cada mensuração (pesagem) realizada (Nicholson & Sayers, 1987; Mckayet al. 1989; Winkler et al. 1992; Winkler, 1993).

Dessa maneira, o melhor entendimento entre a correlação entre o peso corporal e medidas corporais, como altura de cernelha, faz-se necessário para interpretação mais adequada dos dados coletados. Segundo Davies et al. (1961), a acurácia da estimativa de peso corporal a partir de mensurações corporais como altura de cernelha ou perímetro torácico varia em função da raça, da idade, do tamanho e da condição corporal do animal. Outra questão consiste na escolha do modelo matemático adequado para ser utilizado na análise dos dados. De forma geral, os trabalhos têm indicado que a função de Richards apresenta melhor modelagem e o modelo de Brody apresenta boa modelagem apenas para idades acima de seis meses (Tedeschiet al. 2000). A escolha adequada do modelo matemático a ser avaliado é importante, pois permite condensar um grande volume de dados em poucos parâmetros de fácil interpretação biológica (Barbosa et al. 2004).

Alguns trabalhos buscaram adequar modelos matemáticos que atendam à correlação entre o peso dos animais e medidas corporais. Heinrichset al.

(1992) avaliaram a correlação entre o peso e dados de perímetro torácico, altura de cernelha, largura da anca e comprimento corporal e concluíram que o perímetro torácico melhor correlaciona-se com o peso corporal, porém considerou que as outras medidas corporais também podem ser utilizadas para estimar o peso vivo dos animais, principalmente aquelas mais fáceis de se mensurar como altura de cernelha.

Heinrichs e Hargrove (1987), Hoffman et al. (1992) e Heinrichs e Losinger (1998) avaliaram a correlação entre a altura de cernelha e o peso corporal de novilhas Holandesas e concluíram que existe alta acurácia nos resultados obtidos, sendo portanto possível prever o peso corporal de novilhas Holandesas provenientes de rebanhos dos Estados Unidos a partir de dados de altura de cernelha.

Assim, a partir de mensurações corporais, como a altura da cernelha, pode-se estimar a curva de crescimento dos animais, tornando possível a predição e seleção daqueles geneticamente superiores, aumentando a eficiência dos sistemas de produção em função da taxa de progresso produtivo obtida por cada geração (Val et al. 2004). Dessa maneira, é possível estabelecer, com maior celeridade, o incremento produtivo do rebanho (Grossi, 1999; Zambianchiet al. 1999).

1.1- Curvas de Crescimento

O crescimento animal pode ser analisado de forma prática e eficiente através da relação entre peso e idade, gerando a chamada curva de crescimento (Silva et al. 2001). Usualmente, essa relação é representada por modelos de regressão não lineares, que relacionam dados de peso-idade da vida de um indivíduo em um conjunto de parâmetros biologicamente interpretáveis (Fitzhugh Jr., 1976).

Os parâmetros que se destacam são o peso à maturidade ou peso adulto; a taxa de maturidade, ou seja, a velocidade de crescimento do animal em relação ao peso adulto (Silva et al. 2004); ponto de inflexão, que identifica o momento em que o animal muda de uma fase de crescimento acelerada para

uma fase de crescimento inibitória; e a constante de integração, a qual representa uma interpretação biológica direta (Silveira, 2010).

Tais informações permitem a seleção de animais mais precoces, com maior eficiência da utilização de alimentos e mais produtivos, contribuindo para a diminuição dos custos de produção e aumento da rentabilidade para o produtor rural (Oliveira, 2011). 4

De acordo com Fitzhugh Jr. (1976), para descrição adequada da relação peso-idade de um animal, um modelo de regressão não linear deve possuir interpretação biológica dos parâmetros, alta qualidade de ajuste e facilidade de convergência.

Estudos de curva de crescimento de fêmeas leiteiras foram realizados por diversos autores. Perotto et al. (1992) analisaram o parâmetro peso à maturidade de fêmeas Holandesas e cruzamentos, concluindo que a função Logística subestima esse parâmetro, a função Brody superestima, enquanto as funções Gompertz e Richards melhor estimam o peso à maturidade. Perotto et al. (1997) avaliaram a curva de crescimento de fêmeas Guzerá, Gir e mestiças Holandês x Guzerá e Holandês x Gir e observaram que o modelo Richards se ajustou bem aos dados. Bergamasco et al. (2001) analisaram a curva de crescimento de novilhas Holandesas e verificaram que o modelo Gompertz apresentou melhor ajustamento do parâmetro peso à maturidade, destacando que as novilhas foram pesadas até a idade de 24 meses, fato que influenciou no ajuste dos dados para os demais modelos testados (Logístico e Brody), pois os valores estimados por esses modelos para o peso à maturidade foram bem acima do convencional.

Assim, no estudo de curvas de crescimento torna-se necessário a compreensão sobre a teoria dos modelos de regressão não lineares, com o intuito de melhor compreender o fenômeno abordado.

1.2- Modelos de regressão não lineares

Os seres vivos apresentam diferentes taxas de crescimento corporal ao longo da vida: crescimento rápido na fase inicial, diminuição da taxa de crescimento após puberdade e uma fase de estabilização, momento em que os

animais atingem a idade adulta (Regazzi, 2003). Dessa forma, os modelos de regressão lineares não satisfazem as condições do parâmetro analisado, sendo necessária a utilização de modelos matemáticos que permitam sua melhor avaliação.

Alternativas foram desenvolvidas pelos estatísticos para avaliação desses parâmetros, conhecidos como modelos de regressão não lineares. Um modelo é chamado não-linear quando não é linear em relação aos parâmetros e nem pode ser linearizado por meio de transformações, uma vez que admite uma estrutura de erros aditiva (Silveira, 2010).

O modelo de regressão não linear pode ser escrito como:

$$y_i = f(x_i, \theta^0) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n$$

onde: y_i representa a observação da variável dependente; $f(x_i, \theta^0)$ é a função resposta conhecida, x_i representa a observação da variável independente; $\theta^0 = [\theta^0_1, \theta^0_2, \dots, \theta^0_p]$ é um vetor de parâmetros p dimensional desconhecido; e ε_i representa o efeito do erro aleatório não observável suposto com média e variância desconhecida.

Na Tabela 1 são apresentadas as equações dos principais modelos de regressão não linear utilizados para descrever curvas de crescimento animal (Fitzhugh Jr., 1976). De maneira geral, esses modelos têm como objetivo descrever uma trajetória assintótica da variável dependente peso em função da variável independente tempo. A diferença entre os modelos é dada pela definição do ponto de inflexão da curva, que lhe confere uma forma sigmoide, sendo que para alguns modelos este ponto pode não existir.

Tabela 1 – Modelos de regressão não linear para descrever curvas de crescimento animal.

Modelo	Equação
Brody	$y_t = A (1 - be^{-kt})^3$
Gompertz	$y_t = A \exp(-be^{-kt})$
Logístico	$y_t = A (1 + be^{-kt})^{-1}$

Fonte: Adaptado de Fitzhugh Jr. (1976).

De uma maneira geral, nesses modelos, o parâmetro A representa o peso adulto e o parâmetro k a taxa de maturidade, ou velocidade de crescimento. Os demais modelos ou apresentam ponto de inflexão fixo ou não o possuem, como o modelo Brody. Não há uma interpretação prática do parâmetro b, sendo considerada um: ⁶ ante matemática (Rocha, 2011).

2. OBJETIVOS

2.1- Objetivo Geral

Avaliar o crescimento de novilhas Holandesas criadas em sistemas de *Freestall*.

2.2- Objetivos Específicos

a) Avaliar a qualidade de ajuste dos modelos não-lineares para estimar o peso corporal em função da idade de novilhas Holandesas;

b) Avaliar o modelo de Heinrichset al. (1992) para estimar o peso corporal a partir da altura de cernelha de novilhas Holandesas;

c) Propor um modelo para estimar peso corporal a partir da altura de cernelha de novilhas Holandesas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto de dados analisados nesse trabalho foi obtido junto ao Setor de Produção de Gado de Leite do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG (20°45' de latitude Sul e 42°51' de longitude Oeste; 651 m de altitude).

Foram obtidas 839 medidas de peso e altura de novilhas da raça Holandesa, pertencentes ao Setor de Produção de Gado de Leite do DZO / UFV, mensurados entre os anos de 2010 a 2013. A coleta de dados foi realizada a cada 30 dias, até o terço final de gestação, onde começa a existir efeito significativo do feto sobre o peso da novilha.

Os animais foram criados em sistema confinado, com alimentação de cana-de-açúcar e silagem de milho, recebendo, diariamente, 1 kg de concentrado.

A relação entre peso vivo e idade de novilhas (em dias) foi estimada utilizando-se os modelos não lineares descritos na Tabela 1 (Fitzhugh Jr., 1976):

Como ferramenta estatística para avaliar o modelo que melhor se ajusta ao banco de dados foram utilizados como critério de seleção os seguintes avaliadores da qualidade de ajuste: coeficiente de determinação ajustado, Teste de Durbin-Watson (Durbin & Watson 1950; Durbin & Watson, 1951); Quadrado médio do erro de predição (Bibby e Toutenburg, 1977) e Critério de informação de Akaike (AIC). De acordo com este último critério, nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor (BURNHAM e ANDERSON, 2004). Dessa forma, menores valores de AIC refletem um melhor ajuste (AKAIKE, 1974). A expressão do AIC é dada por:

$$AIC = -2 \log \text{like} + 2p$$

Em que p é o número de parâmetros e $\log \text{like}$ o valor do logaritmo máximo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

Parâmetros derivados das estimativas dos parâmetros originais dos modelos podem ser de grande utilidade. Dentre estes se destaca o ponto de inflexão (PI), o qual é o ponto em que a taxa de crescimento instantânea (TCI) passa de crescente para decrescente. Respectivamente para os modelos Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards, o PI pode ser obtido diretamente das seguintes equações: a $y_t/A = 8/27$, $y_t/A = 1/2$, $y_t/A=1/e$ e $y_t/A = m^{1/(1-m)}$. O modelo Brody não possui PI(Freitas, 2005)..

Outro parâmetro importante é a Taxa de crescimento instantânea relativa (TCIR), a qual estima o incremento no peso para cada unidade de tempo a TCIR. Suas expressões são dadas por:TCIR: $bKe^{-kt}/(1-be^{-kt})$, $3bKe^{-kt}/(1-be^{-kt})$; $bKe^{-kt}/(1+be^{-kt})$ e $Ky\log_e(A/y)$, para Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards, respectivamente(Freitas, 2005).

Para explicar o comportamento da altura dos animais em função de sua idade, um modelo alométrico foi ajustado até a definição de um platô, segundo a equação:

$$Y = \beta_1 \times t^{\beta_2}, \text{ quando } t < t_p;$$

$$Y = \beta_1 \times t_p^{\beta_2}, \text{ quando } t > t_p;$$

em que: Y é a altura da novilha (cm), β_1 é a altura média ao nascimento, β_2 é a taxa de ganho em altura por dia, t é a idade, t_p é a idade a partir da qual não há mais acréscimo em altura das novilhas.

O modelo de estimação do peso corporal a partir da altura de cernelha (Heinrichset al. 1992) foi testado com o conjunto geral de dados (839 medidas) e também analisou-se separadamente em categorias de peso: 0-500 kg; 0-400 kg; e 0-300 kg, sendo 770 observações para a categoria de 0-500 kg; 647 para categoria de 0-400 kg; e 530 para categoria de 0-300 kg.

A equação do modelo de Heinrichset al. (1992) avaliada foi:

$$Y = 632,13 - 16,837 \times ALT + 0,11989 \times ALT^2$$

Onde, Y é o peso corporal (kg) e ALT é a altura de cernelha (cm).

A divisão em categorias de peso foi realizada para verificar se existia um ponto de maior segurança de estimativa da equação, uma vez que a novilha diminui consideravelmente o crescimento quando se aproxima da maturidade (Heinrichs e Hargrove, 1987).

A comparação entre os valores observados e estimados foi realizada segundo recomendações de Tedeschi (2006). O programa ModelEvaluation System foi utilizado para estimar o coeficiente de concordância da correlação (CCC; Lin, 1989) e a raiz do quadrado médio do erro de predição (RQMEP; Bibby&Toutenburg, 1977). O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para verificar a precisão do modelo e a acurácia foi estimada segundo Liao (2003). Foram realizados testes para verificação do $\beta_0 = 0$ (Neter et al. 1996), $\beta_1 = 1$ (Neter et al. 1996), e $\beta_0=0/\beta_1=1$ (Mayer et al. 1994), para a regressão do observado em função do estimado, esperando-se que a mesma indique uma relação de igualdade entre eles, quando o modelo estima o peso corretamente a partir da altura. O vício médio do modelo foi avaliado segundo Cochran e Cox (1957).

Posteriormente, foi realizada avaliação da relação peso/altura em função da idade, quando foi ajustada um modelo linear simples em função da idade de acordo com o comportamento dos dados.

Finalmente, foi ajustado um modelo exponencial para descrever o crescimento (peso) das novilhas em função de sua idade.

Os modelos de crescimento foram ajustados pelo PROC MODEL, os modelos alométrico platô e exponencial foram ajustados pelo PROC NLIN e o modelo da relação peso/altura foi ajustado pelo PROC GLM, do programa Statistical Analysis System (Versão 9.2, SAS, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das estimativas dos parâmetros dos modelos não lineares para obtenção da curva de crescimento das novilhas Holandesas criadas no Brasil são apresentados na Tabela 2 e Figura 1.

Tabela 2 – Estimativados parâmetros de crescimento dos modelos Brody, Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy de novilhas Holandesas criadas no Brasil.

Parâmetros*	Modelos não lineares			
	Brody	Gompertz	Logístico	Von Bertalanffy
A	3384,7	753,7	614,5	878,3
b	0,9956	2,7098	8,4906	0,6356
k	0,00024	0,00292	0,00562	0,00202
Y 350d	285,31	284,24	280,90	284,25
TCIR	0,0026	0,8094	0,0031	0,0028
PI	-	1245,16	307,25	260,24

* A = peso à maturidade (kg); b = coeficiente de integração; k = taxa de maturidade; Y 350d = peso corporal (kg) estimado aos 350 dias de idade; TCIR = taxa de crescimento instantânea relativa; PI = ponto de inflexão (kg).

Percebe-se que o modelo de Brody superestima o peso corporal à maturidade, apresentando peso à maturidade de 3.384,7 kg, biologicamente impossível. O modelo proposto por Brody não possui ponto de inflexão, portanto considera crescimento praticamente constante ao longo de toda vida do animal, o que provoca distorções como esta (Figura 1). Bergamasco et al. (2001), avaliando dados de novilhas Holandesas, verificaram que o modelo de Brody apresentou estimativa de peso à maturidade não coerente com a realidade, com valor de 1.486,8 kg à maturidade, corroborando com os resultados encontrados com esse trabalho.

O ponto de inflexão está associado a mudança de fase crescimento, que coincide com o momento em que o animal atinge a puberdade (Berg e

Butterfield, 1979), alterando a fase de crescimento acelerada para inibitória. Estimar seu valor permite aos programas de melhoramento genético selecionar animais mais precoces. Apesar da curva de Gompertz apresentar um bom ajuste para os dados, o modelo apresenta ponto de inflexão não condizente com a realidade. Os modelos Logístico e Von Bertalanffy sugerem que o ponto de inflexão situa-se entre 260 e 310 kg de peso corporal. Possivelmente este ponto pode estar correlacionado com o peso em que os animais atingem a puberdade e iniciam sua vida reprodutiva. Diversos trabalhos indicam que novilhas Holandesas manifestam seu primeiro cio (como consequência de sua primeira ovulação) entre 250 e 300 kg (Sejrsen e Purup, 1997), porém indicam o peso à cobertura entre 300 e 350 kg (Moss, 1993; Campos & Lizieire, 1998; Heinrichs, 1998; Van Amburgh et al. 1998). Assim, percebe-se que esses modelos são eficientes para estimar não só as taxas de crescimento e idade à maturidade, mas também a idade à puberdade de bovinos de leite, sendo ainda necessário esse tipo de avaliação em outros animais para verificar a consistência desse resultado.

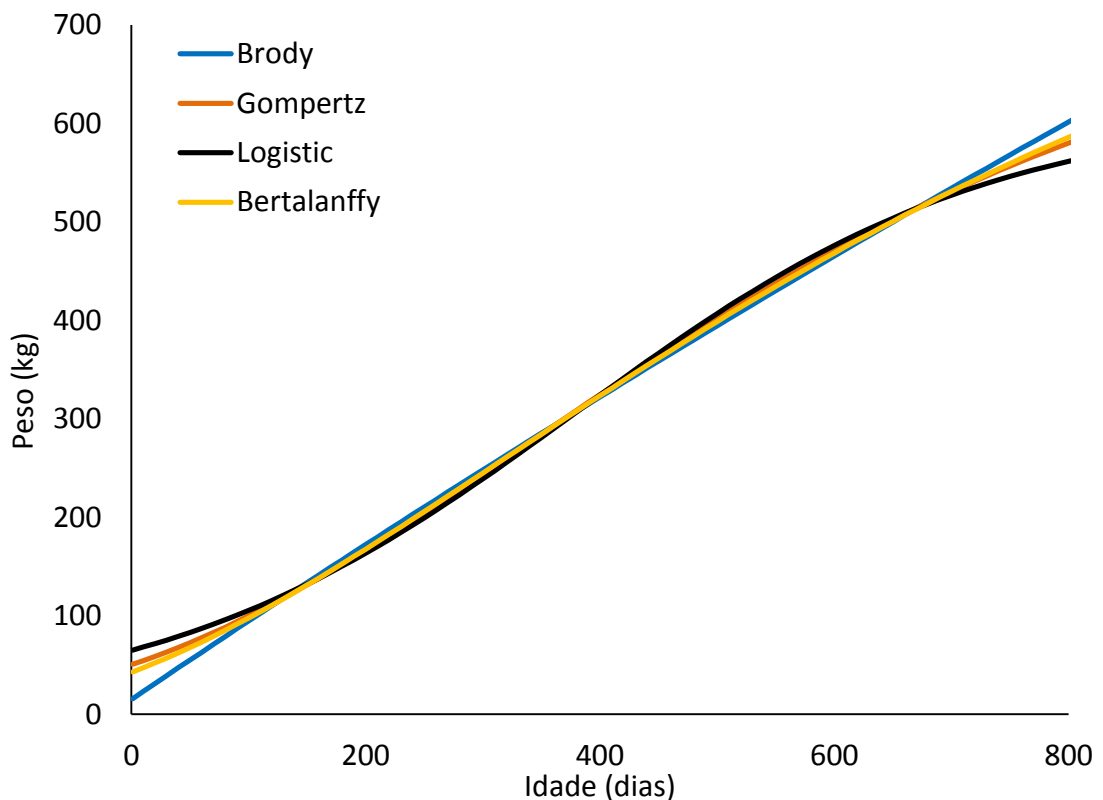


Figura 1 – Representação gráfica das curvas de crescimento de novilhas Holandesas utilizando os modelos Brody, Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy.

Verifica-se, também, que a amplitude do parâmetro “A” foi menor para o modelo Logístico (Tabela 3), indicando menor variação entre o limite inferior e o limite superior observado para esse parâmetro. Para os parâmetros “b” e “k”, observa-se que o modelo Brody apresenta menor amplitude, seguido pelos modelos Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico. Assim, percebe-se que o modelo Logístico não só apresentou a melhor estimativa de A, mas também uma maior precisão nesta estimativa.

Tabela 3 – Avaliação dos modelos Brody, Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy para predição do crescimento de novilhas Holandesas criadas no Brasil.

Avaliadores ¹	Modelos não lineares			
	Brody	Gompertz	Logístico	Von Bertalanffy
Amplitude A	7712,6	135,8	56,8	230,7
Limite inferior A	-471,6	685,8	586,1	763,0
Limite superior A	7241,0	821,6	642,9	993,7
Amplitude b	0,01	0,30	1,81	0,05
Limite inferior b	0,992	2,562	7,585	0,612
Limite superior b	0,999	2,858	9,393	0,660
Amplitude k	0,0006	0,0008	0,0009	0,0007
Limite inferior k	-0,00007	0,00253	0,00515	0,00167
Limite superior k	0,000543	0,0033	0,00608	0,00238
R ² _{aj}	0,8784	0,8810	0,8818	0,8804
Durbin Watson	0,9926	0,9972	0,9920	0,9971
MSE	2641,7	2578,3	2567,2	2592,5
AIC	8974,0	8952,0	8950,0	8958,0

¹R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Durbin Watson = teste de Durbin Watson; MSE = Meansquareerror (quadrado médio do erro); AIC = critério de informação de Akaike.

O NRC (2001) aponta o peso à maturidade de animais Holandeses de 680 kg. No entanto, rebanhos mantidos em sistemas tropicais comumente buscam diminuição do peso adulto dos animais como forma de diminuir a

produção de calor (e requerimentos de manutenção) para amenizar o estresse térmico (Dickerson, 1973; Marshall et al. 1984; Groen et al. 1997; Vercesi Filho et al. 2000). O rebanho do qual o banco de dados foi obtido utiliza touros com STA (*standardizedtransmissionability*) próximo de zero há mais de 4 anos, como forma de evitar o crescimento excessivo dos animais. Possivelmente este efeito pode promover uma lenta e sistemática diminuição do peso adulto dos animais ao longo do tempo, mesmo utilizando touros de provas americanas, criadas em sistemas de clima temperado, o que poderia explicar um peso adulto de 614 kg estimado pelo modelo logístico (modelo que melhor se adequou ao banco de dados). O modelo de Gompertz estimou o peso à maturidade de 753 kg, no entanto seu limite inferior é de 685 kg, muito próximo ao indicado pelo NRC (2001), evidenciando que para este parâmetro, este modelo também pode ser utilizado. Já o modelo de Von Bertalanffy produziu estimativas não reais de peso à maturidade de animais da raça Holandesa, não sendo indicado neste caso.

Observa-se que o modelo Logístico apresentou maior precisão (R^2) dentre os modelos, seguido pelo modelo Gompertz, Von Bertalanffy e Brody. Para o teste de Durbin Watson, verifica-se que aquele que mais se aproxima da unidade também foi o modelo Logístico, seguido pelos modelos Brody, Von Bertalanffy e Gompertz. Observa-se que o mesmo comportamento ocorreu para o MSE e para o teste AIC.

A partir das equações ajustadas, foram estimados os pesos de acordo com diversas idades (Tabela 4). Verifica-se que o modelo Brody (15,70 kg) subestima o peso de fêmeas Holandesas ao nascer, enquanto os modelos Logístico (65,07 kg) e Gompertz (50,56 kg) superestimam os valores. O modelo Von Bertalanffy (42,95 kg) apresentou melhor estimativa de peso ao nascimento de fêmeas Holandesas no Brasil.

Tabela 4 – Peso corporal estimado (kg) de animais Holandeses, em função da idade, para os diferentes modelos não lineares.

Idade (dias)	Modelos não lineares			
	Brody	Gompertz	Logístico	Von Bertalanffy
1	15,70	50,56	65,07	42,95
15	26,95	56,34	69,80	49,49

90	86,60	93,83	100,41	91,22
180	156,79	151,86	150,34	152,72
350*	285,31	284,24	280,90	284,25
450	358,51	363,86	366,42	361,56
540	422,91	430,55	436,35	427,26
633**	485,93	490,03	493,10	487,76
720	547,62	541,29	535,07	542,36
810	607,99	584,33	564,01	590,89

* Y 350d (Tabela 2);

** Idade estimada em que as novilhas cessaram o crescimento em altura de cernelha.

Segundo Guaragna et al. (1990), o peso médio ao nascimento de fêmeas Holandesas brasileiras observado foi de 34,5 kg. McManus et al. (2008) observaram peso médio ao nascimento de 39,17 kg para fêmeas Holandesas criadas no Centro-Oeste brasileiro.

Val et al. (2004) estimaram a curva de peso de fêmeas Holandesas criadas no estado de São Paulo utilizando o modelo de Von Bertalanffy e observaram peso ao nascimento estimado de 40,4 kg, próximo ao encontrado no presente estudo. Em trabalho realizado com machos da raça Canchim, Freitas (2005) observou que os modelos Brody, Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy superestimaram os valores de peso ao nascimento.

Analisando dados dos Estados Unidos, Heinrichs e Losinger (1998) verificaram o peso médio de fêmeas Holandesas de 53,1 kg aos 15 dias de idade. No presente estudo, o valor estimado do peso à mesma idade nos modelos Brody e Von Bertalanffy foram de 26,95 e 49,49 kg, valores subestimados, porém a estimativa do modelo Von Bertalanffy se aproximou do valor observado. Os modelos Gompertz e Logístico superestimaram o peso aos 15 dias quando se compara ao dado observado pelos autores supracitados, com valores de 56,34 e 69,80 kg.

Observa-se que o peso ao nascimento de bezerras oriundas dos Estados Unidos são maiores que os dados observados de bezerras brasileiras. Segundo McManus et al. (2008), o peso ao nascimento é importante fator de seleção para melhoramento genético de rebanhos, pois influencia o aumento da mortalidade de bezerros no rebanho. Animais nascidos leves demais podem vir a demonstrar baixa resistência e bezerros nascidos excessivamente

grandes podem aumentar a chance de partos distócicos, aumentando também a mortalidade de bezerros ao nascimento.

Percebe-se, portanto, que para todos os avaliadores de qualidade, o modelo logístico apresentou melhor ajuste, concluindo-se que as novilhas holandesas apresentaram peso à maturidade de 615 kg, uma taxa de maturidade de 0,0056 e a maturidade sexual com cerca de 307 kg. Bergamasco et al. (2001) analisaram três modelos lineares e verificaram que o modelo Gompertz melhor ajustou os dados para novilhas Holandesas criadas em Petrópolis-RJ. Freitas (2005) analisou diversos modelos não lineares para ajustar curva de crescimento de várias espécies animais, incluindo bovinos, e observou que o modelo Logístico teve o melhor ajuste para animais da raça Canchim (base de dados utilizada).

Observou-se um crescimento trípico da altura em função da idade dos animais até atingir-se 632,8 dias, sendo que após essa idade a altura estabilizou-se em 138 cm (Figura 2):

$$Y = 31,912t^{0,228}, \text{ quando } t < 632,8 \text{ dias};$$

$$Y = 31,912t_p^{0,228}, \text{ quando } t > 632,8 \text{ dias}$$

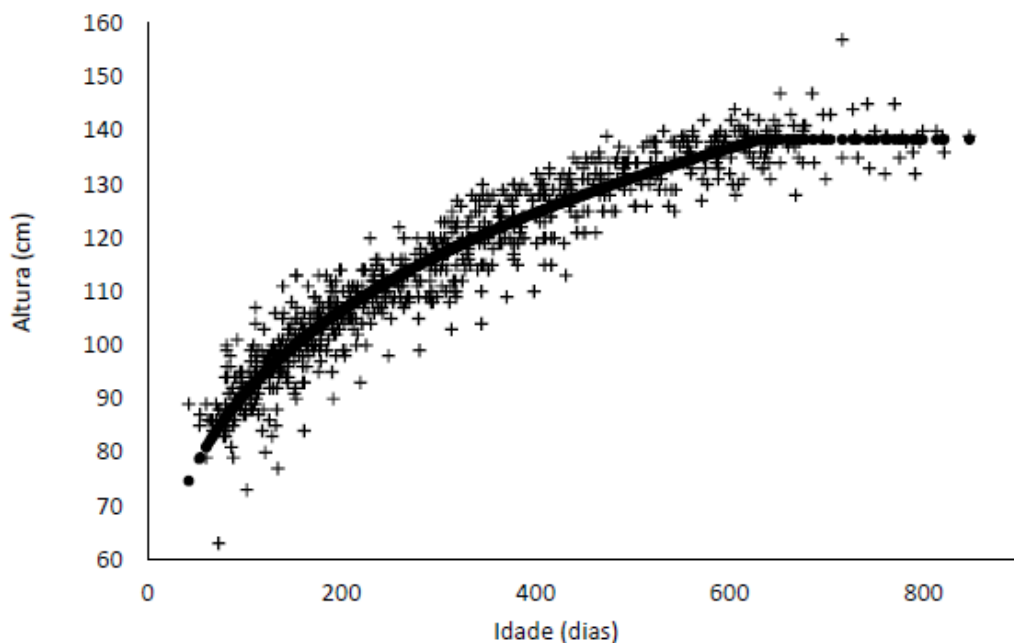


Figura 2 – Altura de cernelha em função da idade (dias) de novilhas Holandesas.

Val et al. (2004) utilizaram o modelo de Von Bertalanffy para estimar o valor de altura de cernelha de fêmeas Holandesas criadas no estado de São Paulo e verificaram comportamento semelhante ao observado no presente estudo, com altura alcançando 137 cm (platô) aos 630 dias de idade.

Heinrichs e Losinger (1998) analisaram dados de altura de cernelha de 8.568 novilhas Holandesas dos Estados Unidos da América e observaram comportamento quadrático do crescimento dos animais em altura, com valor médio de 134,6 centímetros de altura. Em estudo anterior, Heinrichs e Hargrove (1987) avaliaram a altura de cernelha de novilhas Holandesas do estado da Pensilvânia, EUA, e observaram mesmo comportamento da altura em função da idade dos animais, com valor de 132,7 centímetros aos 24 meses de idade.

Assim, observa-se que o peso corporal e a altura de cernelha de fêmeas Holandesas não possuem mesmo comportamento de ajuste de modelos matemáticas para sua predição.

Pesquisadores têm desenvolvidos equações para estimar o peso de novilhas a partir da altura de cernelha (Ragsdale, 1934; Johansson e Hildeman, 1954; Davis et al. 1961; Heinrichs e Hargrove, 1987; Heinrichs et al. 1992). No entanto, todos os modelos utilizados são de ordem linear, sendo o mais aceito aquele desenvolvido por Heinrichs et al. (1992).

A correlação entre peso corporal e altura de cernelha constitui importante ferramenta para o produtor de leite, uma vez que os parâmetros corporais melhor predizem a curva de crescimento do animal, sendo menos influenciados por variáveis ambientais como o peso corporal (Sieber et al. 1988; Markusfeld e Ezra, 1993; Madureira et al. 2002). Nesse sentido, alguns pesquisadores têm indicado a altura de cernelha como parâmetro principal para inseminar as vacas. Val et al. (2004) indica altura de cernelha de 140 cm para concepção. Silva (2011) indica altura de 130 cm para concepção.

No presente estudo, quando a novilha atinge 137 cm de altura de cernelha (altura estimada pelo modelo), o animal cessa o crescimento,

aproximando-se do período de maturidade (peso adulto). Os trabalhos de Val et al. (2004) e Silva (2011) indicam a inseminação de novilhas a uma altura de cernelha próxima ao observado como altura platô para esse estudo. Tal dado indicaria, para o rebanho avaliado, que a inseminação seria realizada nas novilhas próximas ao peso à maturidade, não condizendo com o manejo reprodutivo preconizado na criação de novilhas Holandesas. Portanto, para o presente estudo a inseminação artificial recomendada seria realizada quando as novilhas atingissem altura de cernelha de 124 cm (peso corporal 307 kg), de acordo com a equação proposta no trabalho para correlacionar peso corporal e altura de cernelha (Figura 2).

Os valores estimados pela equação de Heinrichset al. (1992) quando comparados aos dados observados, indicam o não ajustamento dos pesos corporais em função da altura de cernelha (Tabela 5). Dividiram-se os dados de peso corporal e altura de cernelha das novilhas em categorias de peso (0-300 kg, 0-400 kg e 0-500 kg), buscando maior correlação entre os dados em faixas menores de peso, pois nessa fase o crescimento é alométrico (período pré-púbere), supondo-se melhor ajuste ao modelo não linear proposto por Heinrichset al. (1992). Apesar do r^2 em categorias de peso menores, a equação ainda sim não foi capaz de estimar adequadamente o peso corporal em função da altura de cernelha, independentemente da faixa de peso.

Tabela 5 – Avaliação da qualidade de ajuste da equação proposta por Heinrichset al. (1992) para relacionar peso corporal e altura de cernelha de novilhas Holandesas criadas no Brasil.

Parâmetros	Faixas de Peso Avaliadas			
	Dados totais	0-500 kg	0-400 kg	0-300 kg
a	16,76785	26,36303	37,41175	52,35596
b	0,78604	0,73522	0,66951	0,56724
R ²	0,9066	0,91179	0,88119	0,83584
a = 0*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
b = 1*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
a = 0/b = 1*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Vício (Y-X)	-51,43734	-51,41401	-44,19566	-35,31905
Vício = 0*	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

CCC**	0,89087	0,90941	0,87812	0,74265
Acurácia	0,92188	0,8831	0,83673	0,73812
RQMEP***	78,2185	76,53795	69,36609	58,56718
n	837	770	647	530

* Valor P.

** Coeficiente de concordância da correlação.

*** Raiz do quadrado médio do erro de predição.

Observa-se que tanto o intercepto (parâmetro “a”), quanto a inclinação (parâmetro “b”) foram significativos, indicando que o intercepto foi diferente de zero e a inclinação diferente da unidade. Conseqüentemente, quando esses fatores foram avaliados em conjunto, ainda sim não foi evidenciada uma boa correlação entre os valores preditos e observados para peso corporal.

O vício da equação ajustada apresentou-se significativo, indicando a baixa correlação entre os dados analisados. A acurácia da equação é alta (0,92188), diminuindo quando se analisa os dados por faixa de peso (menor para 0-300 kg). Assim, apesar do vício médio e do quadrado médio do erro de predição (RMSEP) diminuir quando se avalia uma faixa de peso menor, a acurácia diminui, uma vez que o banco de dados reduz consideravelmente. Portanto, é possível que esses modelos de crescimento realmente se ajustem melhor com animais mais novos, e ¹⁹ é necessário um banco de dados maior para obter melhor avaliação dos mesmos. Segundo Ludwig et al. (1981), a falta de coerência na interpretação biológica de parâmetros ajustados na maior parte das vezes pode ser explicada pela baixa quantidade de dados disponíveis (número de pesagens e/ou animais insuficientes).

O crescimento corporal de novilhas não é uniforme em relação a diferentes órgãos do animal, implicando em taxas diferenciadas de crescimento para diferentes partes do corpo animal, ou seja, a carcaça cresce a uma taxa e os tecidos muscular, ósseo e adiposo podem crescer a taxas maiores, iguais ou menores, em função da fase de desenvolvimento do animal (Marcondes et al. 2009). Tal fato pode explicar os resultados não significativos da equação de correlação entre o peso corporal e a altura de cernelha.

Assim, outra forma de avaliar o desenvolvimento das novilhas seria dividindo-se o peso (kg) pela altura (cm), apresentando comportamento

relativamente constante e linear (Figura 3). Essa relação peso corporal / altura de cernelha constitui um bom indicador da condição corporal (Klosterman et al. 1968; Nelsen et al. 1985), influenciando nas exigências nutricionais e no desempenho reprodutivo das novilhas e vacas (Thompson et al. 1983).

Verificou-se que a relação peso corporal/altura de cernelha aumenta em função da idade dos animais de maneira constante, indicando um crescimento corporal uniforme em relação à idade. Tais informações possibilitam inferir que não houve excesso de gordura corporal depositada na carcaça e na glândula mamária, mantendo-se o Escore de Condição Corporal adequado à fase de desenvolvimento pré-púbere e púbere das novilhas, podendo-se sugerir que não ocorrerão decréscimos de produção leiteira na primeira lactação dos animais (Marcondes et al. 2009).

Conforme discutido anteriormente, o uso de medidas corporais para estimativa do peso corporal de novilhas Holandesas torna-se ferramenta importante para o produtor, sugerindo-se o uso de modelos matemáticos mais adequados ao comportamento natural do crescimento dos animais.

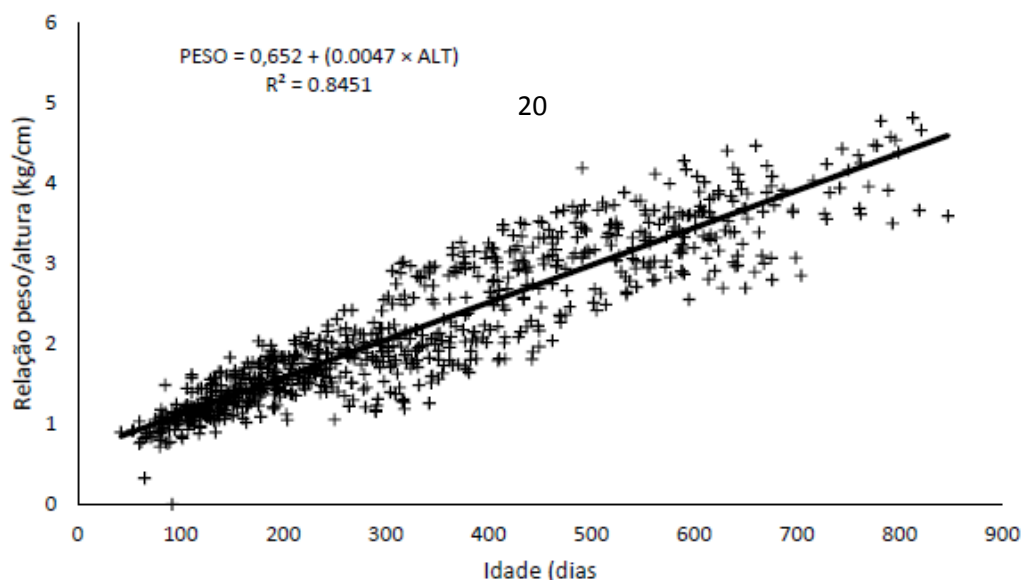


Figura 3 – Relação entre peso corporal/altura de cernelha de novilhas Holandesas criadas no Brasil.

Tanto o crescimento em peso corporal como em altura de cernelha seguiram comportamento não lineares em relação à idade das novilhas, o que sugere que modelos não lineares seriam os mais adequados para descrever uma relação entre essas duas variáveis. Assim, foi ajustado um modelo exponencial para estimar o peso em função da altura de novilhas Holandesas (Figura 4).

A proposta de utilização de um modelo matemático exponencial baseia-se no comportamento natural de crescimento dos animais até os 21 meses de idade, em que as novilhas apresentam crescimento diferente entre as partes do corpo (glândula mamária, tecido muscular e ósseo).

O tecido da glândula mamária apresenta quatro fases de crescimento distintas: durante os primeiros 3 meses de vida da fêmea, a glândula mamária cresce de forma semelhante ao crescimento corporal (fase isométrica). Dos três aos nove ou onze meses de vida, ocorre o crescimento alométrico, em que o tecido mamário cresce de duas a quatro vezes mais que os demais tecidos. A terceira fase de crescimento da glândula mamária é isométrica e ocorre após a puberdade até os três primeiros meses de gestação da novilha. A quarta fase, alométrica, ocorre nos dois terços finais da gestação (Sejrsenet al. 1982; Tucker, 1987; Lacasse e Block, 1993; Sejrsen e Purup, 1997).

O modelo exponencial proposto para estimar peso corporal em função da altura de cernelha de novilhas ho 21 as:

$$\text{Peso} = 5,08283e^{0,033127} \times \text{ALT}$$
$$R^2 = 0,9064$$

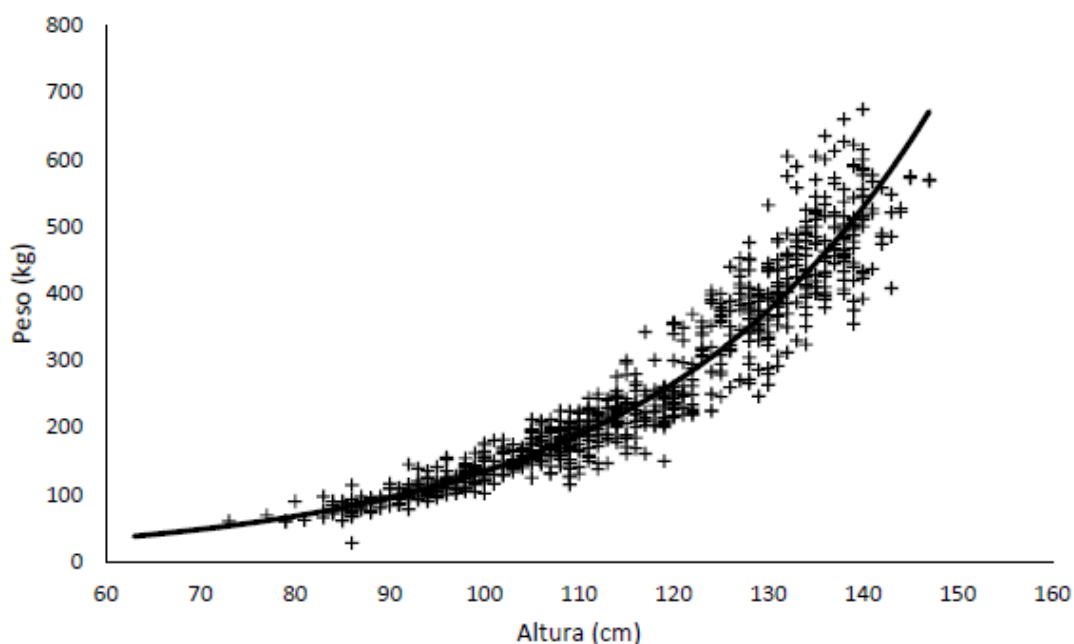


Figura 4 – Curva de modelo exponencial proposto para estimar peso corporal em função da altura de cernelha de novilhas Holandesas.

A Tabela 6 apresenta os valores dos avaliadores da equação proposta. Observa-se que o modelo proposto se adequa aos dados observados, verificando-se R^2 de 0,9064 e amplitude nula para o fator B, indicando boa correlação da curva do modelo estimado aos dados observados.

O tecido muscular e o tecido ósseo crescem de maneira isométrica em relação à composição corporal da novilha, havendo no terço final da gestação maior deposição de tecido muscular / adiposo, reduzindo a proporção de tecido ósseo no crescimento corporal do animal. Segundo Mayer (1995), a relação peso corporal / altura de cernelha é maior na fase final do crescimento, quando o animal aproxima-se do peso adulto.

Tabela 6 – Avaliação do modelo exponencial proposta para estimar o peso corporal em função da altura de cernelha de novilhas Holandesas.

Avaliador	Resultado
Amplitude A	1,3984
Limite inferior A	4,3836
Limite superior A	5,782

Amplitude B	0,000
Limite inferior B	0,0321
Limite superior B	0,0341
Durbin Watson ¹	1,569
MSE	2019,60
AIC	8728,00

¹Durbin Watson = teste de Durbin Watson; MSE = Meansquareerror (quadrado médio do erro); AIC = critério de informação de Akaike.

Assim, as taxas de crescimento dos diferentes tecidos corporais influem na curva de crescimento da novilha, sendo o seu comportamento não linearizado, evidenciando a importância da adoção de modelos matemáticos exponenciais para melhor ajustar os dados de crescimento dessa categoria animal.

Tal característica implica na melhor adaptação dos dados ao modelo exponencial, em comparação ao modelo quadrático proposto por Heinrich et al. (1992), mas apenas para animais com idade igual ou inferior a 21 meses. A partir dessa idade, os modelos matemáticos existentes não permitiriam uma adequada estimativa do peso corporal baseado na altura de cernelha, pois o crescimento ósseo dos animais cessa, havendo ganho de peso corporal em função da deposição de gordura na carcaça (Owens et al. 1995).

Dessa forma, o uso de medidas corporais para estimar o peso corporal de novilhas Holandesas permite a pequenos produtores rurais, que não possuem estrutura de balança em suas propriedades, acompanhar o desenvolvimento ponderal de suas novilhas, aumentando o controle sobre a fase de recria.

Isso possibilita maior gerência sobre o manejo nutricional e reprodutivo das novilhas, com recursos de fácil aplicação, aumentando a eficiência em uma fase de desenvolvimento crítica, pois erros de manejo com as novilhas podem ser irreversíveis, causando severos prejuízos para o pecuarista de leite.

Salienta-se que medidas como altura de cernelha, pode ser aplicado utilizado apenas para animais com até 21 meses de idade, fase em que o animal cessa o crescimento em altura, mas continua a ganhar peso corporal. Contudo, também é importante deixar claro que essas medidas

passam a ser consideravelmente imprecisas quando são estimados os pesos de animais mais velhos, devendo ser utilizadas cautelosamente.

5. CONCLUSÕES

A qualidade de ajuste do modelo Logístico é o que melhor estima o peso corporal de novilhas Holandesas em função da idade.

Não é adequado estimar o peso de novilhas Holandesas a partir de mensurações da altura de cernelha utilizando o modelo de equação de Heinrich et al. (1992).

Sugere-se a utilização de um modelo exponencial para predição do peso corporal a partir da altura de cernelha de novilhas Holandesas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, V. 19, p. 716 – 723, 1974.

BARBOSA, P.F.; PAIOLI, F.S.; SOUSA, F.A. Relações entre os parâmetros da curva de crescimento e a produção de leite na lactação em vacas da raça Holandesa. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40^a, **Anais...**Santa Maria, 2003.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R.M. **Nuevos conceptos sobre desarrollo de ganadovacuno**. Zaragoza: Acribia, 1979. 297p.

BERGAMASCO, A.F.; AQUINO, L.H.; MUNIZ, J.A. Ajuste de modelos não-lineares a dados de crescimento de fêmeas da raça Holandesa. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.25, n.2, p.235-241, 2001.

BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and improved estimation in linear models**. Berlin, Germany: JohnWiley& Sons, 1977. 188p.

BROWN, C.J., BROWN, J.E. **The influence of mature weight and rate of maturing on individual beef cow efficiency**. Arkansas: University of Arkansas, 18p., (Bulletin, 774), 1972.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2nd.ed. New York:Springer-Verlag, 2002. 488p.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological methods e research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, Nov. 2004.

CARTWRIGHT, T.C. Size as a component of beef production efficiency: cow-calf production. **Journal of Animal Science**, v.48, p.974-980, 1979.

CAMPOS, O.F. de; LIZIEIRE, R.S. Estratégias para obtenção de fêmeas de reposição em rebanhos leiteiros. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 10, Piracicaba, 1998. **Anais...**Piracicaba:FEALQ, 1998. p.215-255.

COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental Design**. New York:John Wiley & Sons, 1957. 617p.

COELHO, J.G.; BARBOSA, P.F.; TONHATI, H.; FREITAS, M.A.R. Análise das relações da curva de crescimento e eficiência produtiva de vacas da raça Holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p.2346-2353, 2009.

DAVIS, H.P.; SWETT, W.W.; HARVEY, W.R. Relation of heart girth to weight in Holstein and Jerseys. **Nebraska Agric. Exp. Stn. Res. Bull.** 194, Univ.

Nebraska, Lincoln. 1961.

DICKERSON, G.E. Inbreeding and heterosis in animals. **ANIMAL BREEDING AND GENETICS SYMP. IN HONOR OF DR. LAY L. LUSH, 1973**, Champaign. **Proceedings...** Champaign: American Society of Animal Science, 1973. p.54-77.

DURBIN, J.; WATSON, G.S. Testing for serial correlation in least squares regression. I. **Biometrika**, v.37, n.3-4, p.409-428, 1950.

DURBIN, J.; WATSON, G.S. Testing for serial correlation in least squares regression. II. **Biometrika**, v.38, n.1-2, p.159-178, 1951.

FITZHUGH Jr., H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.

FOX, D.G.; BLACK, J.R. A system for predicting body composition and performance of growing cattle. **Journal of Animal Science**, v.58, p.725, 1984.

FREITAS, A.R.D. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.786-795, 2005.

GOMES, S.T. **Benchmark da produção de leite em MG.** Milkpoint, 2005. Disponível em: http://www.milkpoint.com.br/mn/espacoabertoartigo.asp?nv=1&d_artigo=23393&area=23&perM=_12&perA=2005. Acesso em: 07/05/2013.

GROEN, A.F., STEINE, T., COLLEAU et al. Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP-working group. **Lvstck. Prod. Sci.**, v.49, p.1-21, 1997.

GROSSI, S.F. **Eficiência reprodutiva e produtiva em rebanhos leiteiros monitorados por sistema de informação.** 1999. 87f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

GUARAGNA, G.P.; CARNEIRO, G.G.; TORRES, J.R.; GAMBINI, L.B. Effect of environmental and genetic factors on birth weight of Holstein cattle. **Boletim de Indústria Animal**, v.47, n.1, p.19-30, 1990.

HEINRICHS, A.J.; HARGROVE, G.L. Standards of weight and height for Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.653, 1987.

HEINRICHS, A.J.; ROGERS, G.W.; COOPER, J.B. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. **Journal of Dairy Science**, 75:3576-3581, 1992.

HEINRICHS, A.J.; LOSINGER, W.C. Growth of Holstein dairy heifers in the United States. **Journal of Animal Science**, v.76, n.5, p.1254-1260, 1998.

HEINRICHS, A.J. Here new growth chart for Holsteins. **Hoard's Dairyman**,

v.143, n16, p.646-647, Sep. 25, 1998.

HOFFMAN, P.C. Optimal body size of Holstein replacement heifers. **Journal of Animal Science**, v.75, n.3, p.836-845, 1997.

JOHANSSON, I.; HILDEMAN, S.E. The relationship between certain body measurements and live and slaughter weight in cattle. **Anim. Breed. Abstr.**, v.22, p.1, 1954.

KEELE, J.W., WILLIAMS, C.B., BENNETT, G.L. A computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. I. Theory and development. **Journal of Animal Science**, 70:841-857, 1992.

KLOSTERMAN, E.W.; SANFORD, L.G.; PARKER, C.F. Effect of cow size and condition and ration protein content upon maintenance requirements of mature beef cows. **Journal of Animal Science**, v.27, p.242-246, 1968.

LAIRD, A. K.; HOWARD, A. Growth curves in inbred mice. **Nature**, Basings Toke, v.213, n.5078, p.786-788, 1967.

LACASSE, P. e BLOCK, E. Effect of plane of nutrition of dairy heifers before and during gestation on milk production, reproduction and health. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.3420-3427, 1993.

LIAO, J.J.Z. An improved concordance correlation coefficient. **Pharmaceutical Statistics**, v.2, p.253-261, 2003.

LIM, L.I.-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v.45, p.255-268, 1989.

LUDWIG, A.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, L.M. Ajustamento de modelos estatísticos exponenciais ao crescimento de gado Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.2, p.297-302, 1981.

MACHADO, P.F. Criação de novilhas – padrões de crescimento e necessidades nutricionais. **Gado Holandês**, n.416, p.19-21, 1993.

MARSHALL, T.E.; MOHLER, M.A.; STEWART, T.S. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. **Animal Production**, v.39, p.383-387, 1984.

MCKAY, R.M.; RAHNEFELD, G.W.; WEISS, G.M. et al. Live body measurements in ten first crosses of beef cows raised in two environments. **Canadian Journal of Animal Science**, v.69, p.69-82, 1989.

MADUREIRA, A.P.; MADALENA, F.E.; TEODORO, R.L. Desempenho comparativo de seis grupos de cruzamento Holandês/Guzerá. 11. Peso e altura de vacas e novilhas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.2, p.658-667, 2002.

MARCONDES, M.I.; SILVA, J.C.P.M.; VELOSO, C.M.; CAMPOS, J.M.S.

Manejo de novilhas leiteiras. In: Manejo e administração em bovinocultura leiteira. Eds: SILVA, J.C.P.M; OLIVEIRA, A.S.; VELOSO, C.M. Viçosa, MG. P.55-90, 2009.

MARKUSFELD, O.; EZRA, E. Body measurements, metritis, and postpartum performance of first lactation cows. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.3771, 1993.

MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agric. Syst.** v.45, p.93-104, 1994.

MAYER, K. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. **Liv. Prod. Sci.**, Amstersam, v.44, p.125-137, 1995.

MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; FALCÃO, R.A.; et al. Parâmetros reprodutivos para gado Holandês em confinamento total no Centro-Oeste do Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, v.9, n.2, p.272-283, 2008.

MOREIRA, M.V.C. **Custo de criação de novilhas na região da Zona da Mata mineira**. Viçosa:UFV, 2012. 37p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia).

MOSS, R.J. Rearing heifers in the subtropics and tropics: nutrient requirements and supplementation. **Tropical Grasslands**, v.27, n.3, p.238-249, 1993.

NELSEN, T.C.; SHORT, R.E.; REYNOLDS, W.L. et al. Palpated and visually assigned condition scores compared with weight, height and heart girth in Hereford and crossbred cows. **Journal of Animal Science**, v.60, p.363-368, 1985.

NETER, J.; KUTNER, M.H.; NACHTSHEIM, C.J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models** (4th ed.). McGraw-Hill Publishing Co., Boston. 1996.

NICHOLSON, M.J.; SAYERS, A.R. Repeatability, reproducibility and sequential use of condition scoring of *Bosindicus* cattle. **Tropical Animal Health Production**, v.19, p.127-135, 1987.

OLIVEIRA, D.C. **Funções splines para estudo de curvas de crescimento em ovinos cruzados**. Dissertação (Mestrado), Viçosa, MG, 57p., 2011.

OWENS, F.N.; GILL, D.R.; SECRIST, D.S.; COLEMAN, S.W. Review of some aspects of growth and development of feedlot of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3152-3172, 1995.

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 Animal Science**, Ontario, v.72, n.4, p.773-782, 1992.

PEROTTO, D.; CASTANHO, M.J. de; CUBAS, A.C.; ROCHA, J.L; PINTO, J.M. Efeitos genéticos sobre as estimativas dos parâmetros das curvas de

crescimento de fêmeas bovinas Gir, Guzerá, Holandês x Gir e Holandês x Guzerá. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.4, p.719-725, 1997.

RAGSDALE, A.C. Growth standards for dairy cattle. **Missouri Agric. Exp. Stn.Bull.** 336, Univ. Missouri, Columbia, 1934.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. **Revista Ceres**, v.50, n.287, p.9-26, 2003.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **J. Exper. Botany**, v.10, n.20, p.290-300, 1959.

ROCHA, G.S. **Métodos estatísticos na seleção genômica ampla para curvas de crescimento em animais**. Dissertação (Mestrado), Viçosa, MG, 46p., 2011.

SAS-Statistical Analyses System. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.2. Cary: Statistical Analyses System Institute, 2008.Licenciadopara a UFV em 2013.

SEJRSEN, K.; HUBER, J.T.; TUCKER, H.A.; AKERS, R. M. Influence of nutrition on mammary development in pre- and postpubertal heifers. **Journal of Dairy Science**, v,65, p.793-800, 1982.

SEJRSEN, K.; PURUP, S. Influence of prepubertal feeding level on milk potential of dairy heifers: a review. **Journal of Animal Science**, v.75, p.828-835, 1997.

SIEBER, M.; FREEMAN, A.E.; KELLEY, D.H. Relationship between body measurements, body weight and productivity in Holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.3437, 1988.

SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA, A.I.G. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento de gado Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.5, p.1195-1205, 2001.

SILVA, N.A.M.; AQUINO, L.H.; SILVA, F.F.; OLIVEIRA, A.I.G. Curvas de crescimento e influência de fatores não genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.3, p.647-654, 2004.

SILVEIRA, F.G. **Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte**. Dissertação (Mestrado), Viçosa, MG, 61p., 2010.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.F.; LEME, P.R. Estudo da Curva de Crescimento de Animais da Raça Guzerá e seus Cruzamentos Alimentados a Pasto, com e sem Suplementação. 1. Análise e Seleção das Funções Não-Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.630-637, 2000.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agric. Syst.** V.89, p.225-247, 2006.

THOMPSON, W.R.; THEUNINCK, D.H.; MEISKE, J.C. et al. Linear measurements and visual appraisal as estimators of percentage empty body fat of beef cows. **Journal of Animal Science**, v.56, p.755-760, 1983.

TUCKER, H.A. Quantitative estimates of mammary growth during various physiological states: a review. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.1958-1966, 1987.

VAL, J.E.; FREITAS, M.A.R.; OLIVEIRA, H.N. et al. Indicadores de desempenho em rebanho da raça Holandesa: curvas de crescimento e altura, características reprodutivas, produtivas e parâmetros genéticos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, n.1, p.86-93, 2004.

VAN AMBURGH, M.E.; GALTON, D.M.; BAUMAN, D.E.; EVERETT, R.W.; FOX, D.G.; CHASE, L.E.; ERB, H.N. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.527-538, 1998.

VERCESI FILHO, A.E.; MADALENA, F.E.; FERREIRA, J.J.; PENNA, V.M. Pesos econômicos para seleção de gado de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.142-152, 2000.

WARE, G.O.; PHILLIPS, R.D.; PARRISH, R.S.; MOON, L.C. A comparison of two nonlinear models for describing intake-response relationships in higher organisms. **Journal of Nutrition**, Maryland, v.110, n.4, p.765-770, 1980.

WILLIAMS, C.B., KEELE, J.W., BENNETT, G.L.A. Computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. II. Evaluation of the model. **Journal of Animal Science**, 70:858-866., 1992.

WINKLER, R.; PENNA, V.M.; AULER, F. et al. Medidas corporais de fêmeas adultas da raça Guzerá. I. Médias e repetibilidades, In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. p.98.

WINKLER, R. **Tamanho corporal e suas relações com algumas características reprodutivas em fêmeas bovinas adultas da raça Guzerá.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 116p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.

ZAMBIANCHI, A.R.; FREITAS, M.A.R.; PEREIRA, C.S. Aspectos genéticos e de ambiente da produção de leite e do intervalo entre partos em rebanhos leiteiros monitorados por sistema informação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.1280-1284, 1999.