



Utilização de modelos não-lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal em ruminantes

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Ana Maria Loaiza-Echeverri¹

¹Departamento de Ciência Animal, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

anamvz@hotmail.com

(Recibido: abril 21, 2011; aprobado: junio 6, 2011)

RESUMO: O crescimento segue um padrão definido nas populações de animais com relação à idade. Nas etapas iniciais da vida, o crescimento é mais acelerado que aquele que ocorre próximo à idade adulta, observando-se uma curva de evolução sigmóide ascendente. Quando um conjunto de medidas é tomado em um mesmo indivíduo, desde o nascimento até a maturidade, é possível representar o crescimento por meio de uma “curva de crescimento”. Os modelos não-lineares permitem descrever séries de dados de tamanho por idade e permitem condensar a informação em poucos parâmetros com interpretação biológica. O perímetro escrotal é uma característica importante na seleção de reprodutores por apresentar de moderada a alta herdabilidade, alta repetibilidade e por estar associado favoravelmente com características reprodutivas importantes tanto em machos como nas fêmeas relacionadas geneticamente com estes machos. Assim, os modelos não-lineares surgem como uma ferramenta para caracterizar a relação entre a idade e o crescimento do perímetro escrotal e utilizar os seus parâmetros para a identificação de animais com características desejáveis no desenvolvimento testicular.

Palavras chave: escroto, perímetro, reprodução, seleção, sigmóide

Using non-linear models to describe the scrotal circumference growth in ruminants

ABSTRACT: Growth follows a definite pattern in animal populations in relation to age. In early life, growth is faster than that which occurs close to maturity, showing an increasing sigmoid evolution curve. When a set of measures is taken in the same individual, from birth to maturity, it can represent the growth through a “growth curve”. The non-linear models allow the description of series of data by age and size and allow to condense the information into a few parameters with biological interpretation. The scrotal circumference is an important feature in the selection of reproducers by presenting a moderate to high heritability, high repeatability and for being associated with important reproductive traits in both, males and females genetically related with these males. Thus, the nonlinear models arise as a tool to characterize the relationship between age and scrotal circumference growth and use their parameters for the identification of animals with desirable characteristics in testicular development.

Key words: scrotum, perimeter, reproduction, selection, sigmoidal

Introdução

O desempenho dos rebanhos depende do aprimoramento de técnicas de manejo e alimentação, mas é fundamental também, a compreensão dos mecanismos biológicos relacionados com a reprodução animal, associados a práticas de manejo que permitam intensificar a seleção e melhorar a eficiência reprodutiva dos rebanhos.

Nos programas de seleção, para melhorar a fertilidade dos touros, é importante fazer uso de características reprodutivas que apresentem herdabilidades médias a altas. É importante que os atributos em análise mantenham correlações genéticas favoráveis entre si e com outras características importantes para o sistema produtivo como, por exemplo, as relacionadas ao crescimento (Quirino, 1999).

O desconhecimento das curvas de crescimento de características produtivas e reprodutivas de interesse tem limitado o uso de programas de melhoramento que permitam aumentar a produtividade, como é a velocidade de crescimento, a taxa de maturidade a diferentes idades, e a idade ao abate (Gomez et al., 2008).

A utilização do perímetro escrotal nos sistemas de avaliação e seleção de reprodutores deve-se principalmente a sua fácil mensuração, alta repetibilidade, de moderada a alta herdabilidade (Lunstra et al., 1978; Brinks, 1994; Bergmann et al., 1997; Gressler et al., 2000; Oliveira et al., 2007), e por estar favoravelmente associado às características físicas do sêmen (Bergmann et al., 1997; Silva et al., 2002); com a idade à puberdade, a precocidade sexual e o ganho de peso (Bergmann et al., 1997; Silva et al., 2002).

Várias funções matemáticas têm sido usadas na tentativa de representar o crescimento animal, já que estas descrevem as variações que experimentam o tamanho de um organismo ou uma população com a idade (Gomez et al., 2008). As funções que atualmente apresentam grande uso são as funções não-lineares (Quirino

et al., 1999; Nieto et al., 2003; Bilgin et al., 2004; Neves, 2007).

A vantagem de se utilizar modelos não-lineares, em detrimento aos lineares, reside no fato de que os modelos sintetizam um grande número de medidas em alguns parâmetros e permitem a interpretação biológica dos mesmos, uma vez que utilizam mensurações subseqüentes no tempo sobre o mesmo indivíduo e são facilmente comparadas entre diferentes cenários de produção.

Diferentes modelos não-lineares estão disponíveis para estimar os parâmetros do desenvolvimento testicular através das curvas de crescimento do perímetro escrotal, mas todos eles com diferenças nos ajustes estatísticos. Por essa razão, a escolha do melhor modelo não deve levar somente em conta considerações de origem matemática, senão também a coerência biológica dos parâmetros (Posada & Noguera, 2007).

Curvas de crescimento

O crescimento é determinado por fatores genéticos e condições ambientes. A combinação destes, junto com as condições de manejo e fatores intrínsecos, como o sexo, a idade, e o estado fisiológico, determinam a expressão fenotípica do crescimento. Embora o crescimento seja variável em todos os indivíduos, ele segue um padrão bem definido em todas as populações de animais com relação à idade (Brody, 1945; Arango & Vleck, 2002).

Nas etapas iniciais da vida, o crescimento é mais acelerado e o aumento de peso é maior do que aquele que ocorre próximo à idade adulta, observando-se uma curva de evolução sigmóide ascendente. Na medida em que o indivíduo se desenvolve, a velocidade de crescimento se altera e apresenta mudança na curvatura, identificando-se o ponto de maior velocidade de crescimento corporal. Depois deste ponto de inflexão, o crescimento diminui paulatinamente e a taxa de crescimento é cada vez mais lenta. Essa tendência

continua até que o crescimento se estabiliza, fato que matematicamente corresponde com a assíntota horizontal (Gomez et al., 2008).

Quando um conjunto de pesagens (ou medidas de altura) é tomado em um mesmo indivíduo, desde o nascimento até a maturidade, é possível modelar uma curva de peso em função da idade para representar o crescimento. Esta curva é chamada de “curva de crescimento” e, há muito, vem despertando o interesse de pesquisadores de diversas áreas (Oliveira, 1995).

O termo curva de crescimento evoca a imagem de uma curva sigmóide que descreve uma série de medidas de tamanho no longo do tempo. Estes dados podem ser caracterizados de três formas: estática, seccional-cruzada e longitudinal.

No tipo estático, uma ou várias medidas de tamanho são observadas num determinado grupo de animais com a mesma idade ou estágio de desenvolvimento, mas, estes dados fornecem pouca informação sobre o padrão de crescimento e desenvolvimento (Fitzhugh, 1976). No tipo seccional-cruzado, cada indivíduo é avaliado apenas uma vez, mas outros indivíduos da mesma população são avaliados em estágios de desenvolvimentos diferentes. Estes dados permitem caracterizar a curva de crescimento de uma população, mas a qualidade da informação vai depender do grau no qual cada indivíduo represente a população (Fitzhugh, 1976). E, finalmente, entende-se por longitudinal, no sentido amplo, o conjunto de observações onde uma ou mais variáveis são medidas mais de uma vez em cada uma das unidades amostrais, como, por exemplo, pessoas, animais ou plantas. As variáveis de interesse são medidas ao longo de uma dimensão específica, como o tempo. Este último tipo de dados abrange todas as informações contidas nos dois primeiros tipos (Fitzhugh, 1976; Brandão, 1996).

As curvas de crescimento podem ser divididas em dois principais segmentos: o primeiro, de aumento da inclinação, pode ser definido como uma fase de auto-aceleração do crescimento, e, o segundo,

de diminuição da inclinação definida como uma fase de desaceleração do crescimento (Brody, 1945). Por isso, o padrão típico de crescimento segue a forma de uma curva sigmóide, e a taxa de crescimento segue a forma de um sino (Yin et al., 2003).

Curvas de crescimento que relacionam o peso, ou o tamanho, com a idade do animal, têm sido muito utilizadas para descrever o crescimento (Carrijo & Duarte, 1999; Oliveira et al., 2000; Silva et al., 2001; Mazzini et al., 2003; Abreu et al., 2004; Fuentes et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Noguera et al., 2008; Gómez et al., 2008; Malhado et al., 2008).

O ajuste de dados de peso-idade de cada animal, ou grupo de animais, permite obter informações descritivas das curvas de crescimento em estudo, e/ou informações de prognósticos futuros para animais do mesmo grupo racial sob a mesma situação ambiente. Portanto, a função de crescimento, que é utilizada para descrever o crescimento animal, tanto para fins de exigência nutricional, quanto para seleção genética, é de extrema importância (Tedeschi et al., 2000).

O ajuste dos modelos não-lineares a séries de dados de tamanho por idade em bovinos depende da existência destas séries de informações tomadas com certa frequência, desde o nascimento até a maturidade. Esta necessidade pode ser apontada como a principal razão para a carência deste tipo de estudos, e também para o fato de a grande maioria destes ter sido realizada com dados de peso de fêmeas, já que estas permanecem no rebanho em maior número e por mais tempo que os machos (Oliveira, 1995).

O objetivo de se utilizar as curvas de crescimento é descrever a informação contida em uma seqüência de medidas de tamanho e idade ao longo do tempo, para representar um processo longitudinal, mas o problema de utilizar tais dados é como condensá-los para um único animal e que ainda seja um único parâmetro com significado biológico (Arango & Vleck, 2002). Assim, um enfoque amplamente utilizado tem sido o de ajustar os

dados de crescimento a funções matemáticas ou equações de curvas de crescimento que permitam a interpretação biológica dos seus parâmetros, a predição das taxas de crescimento, respostas à seleção ou outros itens de interesse (Fitzhugh, 1976; Arango & Vleck, 2002).

O emprego das curvas de crescimento evita os inconvenientes da interpretação independente de um grande número de medidas isoladas, que estão sujeitas a efeitos ambientes temporários não identificáveis (Fitzhugh, 1976; Forni, 2007).

Modelos não-lineares

Estudos de crescimento em muitos ramos da ciência têm demonstrado que o uso das funções não-lineares é justificado e requerido, se a variável independente engloba estágios de crescimento como a juventude, adolescência, maturidade e senescência (Fekedulegh et al., 1999).

Uma das formas de descrever as curvas de crescimento é por meio de modelos de regressão não-linear. Os principais, de acordo com Mendes (2007), estão listados na tabela 1.

Tabela 1. Principais modelos não-lineares usados para descrever características de crescimento em ruminantes.

Modelo	Equação	Número de parâmetros
Brody	$A(1 - B \exp(-kt))$	3
Von Bertalanffy	$A(1 - B \exp(-kt)^3)$	3
Logístico	$A(1 + B \exp(-kt)^{-1})$	3
Gompertz	$A \exp(-B \exp(-kt))$	3
Richards	$A(1 - B \exp(-kt)^m)$	4

Nos modelos apresentados na tabela 1, o parâmetro A é definido como o valor assintótico da função quando t (tempo, idade) tende ao infinito. Este valor representa o tamanho adulto do animal (peso, altura, perímetro escrotal, etc.), independente de problemas de flutuações devido a efeitos genéticos e ambientais. O parâmetro B , ou constante de integração, não possui interpretação biológica e é utilizado para adequar o valor inicial do tamanho ao nascimento (nesta dissertação, perímetro escrotal ao nascimento), fazendo com que a curva passe pela origem. O parâmetro k corresponde ao índice de maturidade ou à estimativa de precocidade de maturidade e determina a eficiência do crescimento de um animal. A taxa de maturidade também pode ser entendida como um indicador da velocidade com que o animal se aproxima de seu tamanho adulto. Portanto, quanto maior este valor, mais precoce seria o animal, em termos de crescimento. E, por último, o parâmetro m é o que dá forma à curva de crescimento e, conseqüentemente, determina

o ponto de inflexão, no qual se inicia a fase de autodesaceleração até chegar ao tamanho adulto (Quirino et al., 1999; Silva et al., 2001; Mendes, 2007; Silva, 2008). A transição entre estes dois estágios estabelece o ponto de inflexão da curva de crescimento. Teoricamente, a curva de crescimento é essencialmente linear durante esta transição. O ponto de inflexão é influenciado menos pelo genótipo dos animais e mais pelas propriedades das equações escolhidas para tal fim (Fitzhugh, 1976).

No modelo proposto por Brody (1945), o parâmetro m assume o valor de um (1), portanto, o ponto de inflexão coincide com o nascimento, resultando em uma curva não sigmóide. Este modelo foi proposto para descrever o crescimento que ocorre após o ponto de inflexão ou fase de autodesaceleração do crescimento. Apesar disto, seu uso não foi restrito pela fixação dos valores iniciais e, assim, a maioria dos autores que o utilizam considera o nascimento como o ponto

de inflexão e o modelo podem ser usados para descrever todo o crescimento pós-natal (Oliveira, 1995).

Von Bertalanffy desenvolveu uma função baseado na suposição de que o crescimento é a diferença entre as taxas de anabolismo e catabolismo dos tecidos (Forni, 2007). O ponto de inflexão nesta função é fixo em aproximadamente 30% do tamanho assintótico.

O modelo do Richards é uma função com quatro parâmetros e ponto de inflexão variável. Assim, o ponto de inflexão entre indivíduos de uma mesma população pode variar. Segundo Brown (et al.) (1976), pode haver grandes dificuldades na utilização desta curva devido à não-convergência da solução iterativa, sendo que a principal causa seria a alta correlação alta e negativa entre os parâmetros B e m .

A função Logística, proposta por Nelder em 1961 (Forni, 2007), permite ponto de inflexão variável, assim como a curva de Richards. Entretanto, o ponto de inflexão fica limitado entre 41 e 44% de A . Outros autores definiram o ponto de inflexão para este modelo em $A/2$ (Notter et al., 1985).

A função proposta por Gompertz, em 1825 (Oliveira, 1995), foi desenvolvida sob a suposição de que a taxa de crescimento específico reduz exponencialmente com o tempo. O ponto de inflexão neste modelo é fixo em 0,37 de A .

Outra função que tem sido utilizada para descrever o crescimento de ouriços marinhos (Lamare & Mladenov, 2000; Grosjean et al., 2001), e, mais recentemente, o crescimento do perímetro escrotal em ovinos, foi proposta por Tanaka em 1982 (Tanaka, 1982; Bilgin et al., 2004). Este modelo não-linear de quatro parâmetros permite o crescimento indeterminado sem ter uma assíntota. O modelo apresenta um período inicial de crescimento lento, depois um período de crescimento exponencial, seguido de um período de crescimento lento indefinido (Grosjean et al., 2001; Emsen, 2005).

A interpretação biológica dos parâmetros dos modelos não-lineares depende do entendimento

da relação entre a genética e o ambiente, o qual gera um padrão particular. A interpretação biológica inclui a habilidade de categorizar um indivíduo, ou população, por uma característica biológica importante, que pode ser requerido em programas de seleção para taxa de crescimento, taxa de maturidade ou tamanho à maturidade (Fitzhugh, 1976).

Uma característica comum aos modelos não-lineares é que eles mesmos utilizam dois parâmetros biológicos relevantes, e outro que identifica uma constante matemática. É importante ressaltar que, embora as letras utilizadas para designar cada um dos parâmetros coincidam nos diferentes modelos, existem variações quanto às suas interpretações. Em alguns casos, a interpretação dos parâmetros é direta, mas, em outros, é necessário recorrer à dedução da equação para uma compreensão exata de sua relação com os fenômenos fisiológicos subjacentes (Forni, 2007).

Segundo Santoro (et al.) (2005), o benefício do uso dos modelos não-lineares no melhoramento genético animal poderia ser observado na estimação dos parâmetros para as curvas e a identificação dos animais mais apropriados a determinados objetivos de seleção.

Em relação ao parâmetro k , a maturação precoce é uma característica desejável na criação de bovinos, uma vez que representa diminuição no tempo que o animal necessita para atingir as características desejáveis, melhorando, assim, a taxa de retorno da atividade pecuária (Silva, 2008).

Segundo Tornero, (apud) Mendez (2007), no ajuste de um modelo, seja ele linear ou não-linear, a um conjunto de dados, deseja-se um dos seguintes propósitos: 1) obter adequado ajuste para fins de representação; 2) prever os valores da variável resposta para valores fixos da variável independente e estabelecer intervalos de confiança e 3) comparar os resultados de diferentes condições experimentais, usando e/ou interpretando os parâmetros.

Em um modelo linear, a estimação dos parâmetros pode ser feita pelo método dos mínimos quadrados, cujo objetivo é tomar como valores dos parâmetros aqueles que tornam mínima a soma dos quadrados dos desvios entre cada valor observado e sua estimativa (Mendez, 2007).

Os métodos não-lineares trazem dificuldade por necessitar do método de mínimos quadrados iterativos para a estimação dos parâmetros. A literatura propõe vários destes métodos para este fim. Os métodos mais utilizados são o de Gauss-Newton, o “Steepest-Descent” ou de gradiente e o de Marquardt (Tornerio, 1996, *apud* Mendez, 2007).

Tal como em regressão linear, é extremamente importante em regressão não-linear ter à disposição ferramentas de diagnóstico que permitam a avaliação do ajuste do modelo a uma dada aplicação. Usualmente, o ajuste dos modelos não-lineares aos dados é avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2) e a soma do quadrado do erro (SQE), acompanhado também da comparação visual dos gráficos das curvas, mas, segundo Growjean (et al.) (2001), essas duas técnicas não são consideradas rigorosas pelos estatísticos.

Em regressão não-linear, o instrumento de diagnóstico por excelência é a análise dos resíduos (Sousa, 1998). Os resíduos em cada modelo são calculados como a diferença entre os valores observados e os preditos. Para a análise dos resíduos pode-se provar a constância da variância do erro. Para verificar este suposto, os resíduos são apresentados em forma de gráficos, frente aos valores estimados, buscando determinar se os valores incrementam ou diminuem com a magnitude dos valores estimados (Neter & Wasserman, 1974; Lamare & Mladenov, 2000; Posada & Noguera, 2007).

Outra forma de avaliar os modelos pelos resíduos é pelo método de Durwin-Watson. Este teste detecta a correlação entre os resíduos em uma análise de regressão. Os modelos que registram menor correlação entre resíduos sobre o tempo

serão os que apresentam melhor capacidade de ajuste (Posada & Noguera, 2007).

Outros critérios relatados na literatura para avaliar o ajuste das curvas aos dados de crescimento são o quadrado médio dos resíduos (QMR), convergência ou não, e o desvio médio absoluto (DMA) dos resíduos (Freitas, 2005; Sarmiento et al., 2006; Carneiro et al., 2009).

Na definição do modelo de crescimento a ser utilizado, é importante destacar que as formas das curvas podem apresentar variações entre diferentes raças, sendo recomendável a identificação da função que melhor se ajusta à raça em questão. O conhecimento das características produtivas e reprodutivas associado às curvas de crescimento dos animais é uma boa ferramenta a ser utilizada em programas de seleção. Por outro lado, a utilização das curvas de crescimento pode elucidar fatores de influência no crescimento dos animais em determinada idade, evidenciando algum tipo de erro de manejo, passível de ser corrigido (Afonzo et al., 2007).

Perímetro escrotal. A reprodução é um processo complexo e a seleção direta de características ligadas à reprodução é, muitas vezes, difícil de ser aplicada. Por isso, é importante identificar características que sejam facilmente mensuradas e que apresentem correlações genéticas com eventos reprodutivos (Bergmann et al., 1997). Dessa forma, a associação entre duas ou mais características observadas entre indivíduos de uma população, torna-se ferramenta no processo de seleção (Dias et al., 2008).

A utilização do perímetro escrotal nos sistemas de avaliação e seleção deve-se às estimativas de herdabilidade de moderada a alta desta característica, tanto para touros de origem européia (Latimer et al., 1982; Bourdon & Brinks, 1986; Brinks, 1994), quanto para touros de origem indiana (Bergmann et al., 1997; Pereira et al., 2000; Gressler et al., 2000; Oliveira et al., 2007).

Nos trabalhos realizados no Brasil com Zebu, a herdabilidade do perímetro escrotal apresenta

valores de moderados a altos. Bergmann (et al.) (1997) e Quirino (1999) apresentaram estimativas de herdabilidade para o perímetro escrotal em touros Nelore de 0.87 e 0.81 (para valores não ajustados) e 0.71 (para valores ajustados), estimativas um pouco acima das reportados por outros autores. Também em zebuínos, Pereira (et al.) (2000), apresentaram valores de 0.51 para a herdabilidade do perímetro escrotal e Gressler (et al.) (2000) de 0.25 aos 12 meses de idade e de 0.31 aos 18 meses.

Sarreiro (et al.) (2002), encontraram valores de herdabilidade de 0.38 para touros Nelore com idade média de 31 meses. Assim, a alta herdabilidade do perímetro escrotal estimada em populações zebu e a facilidade para medir esta característica permitiriam preconizar seu uso na seleção dos touros a serem utilizados como reprodutores (Quirino, 1999).

O perímetro escrotal também tem sido associado favoravelmente com características do sêmen, como volume, concentração, motilidade e porcentagem de defeitos dos espermatozoides, mas, no Brasil, ainda são escassos os trabalhos que abordam as associações genéticas entre perímetro escrotal e características seminais dos machos zebus (Quirino, 1999).

Na literatura estrangeira, trabalhando com raças européias, Smith & Brinks (1989) reportaram correlação fenotípica favorável, mas discreta, entre o perímetro escrotal e algumas características seminais. Knights (et al.) (1984) encontraram moderada correlação genética e fenotípica entre o perímetro escrotal e todas as características seminais, sugerindo que o perímetro escrotal pode ser utilizado como previsor das características qualitativas e quantitativas do sêmen.

Já, em 1994, Brinks apresentou valores mais elevados para a correlação genética entre o perímetro escrotal e as características seminais, sendo 0.25 entre o perímetro escrotal e a motilidade, -0.51 entre o perímetro escrotal e os defeitos primários, -0.42 entre o perímetro escrotal e os defeitos secundários e 0.58 entre o perímetro escrotal e a porcentagem de espermatozoides normais.

No Brasil, trabalhando com touros Nelore, Bergmann (et al.) (1997), observaram que a correlação genética entre o perímetro escrotal e as características do sêmen foram extremamente variadas, de zero (entre perímetro escrotal e volume) até a unidade (entre perímetro escrotal e motilidade), sendo que esse resultado evidenciou a necessidade de continuidade dessas pesquisas em animais zebu.

Sarreiro (et al.) (2002), encontraram correlação genética positiva entre o perímetro escrotal e todas as características seminais, incluindo o vigor espermático. Nesse trabalho, foi avaliada também a correlação genética entre a libido e as características seminais, com resultados de difícil interpretação, já que os valores estiveram próximos ou iguais à unidade. A libido correlacionou-se em sentido favorável com todas as características seminais, exceto com o vigor, por isso, os autores sugerem que a seleção por perímetro escrotal seja mais eficiente do que a seleção para libido quando se deseja selecionar indiretamente para todas as características seminais.

Em 2002, Valentin (et al.), avaliaram a correlação fenotípica entre o perímetro escrotal e características seminais em vários grupos genéticos (Nelore e cruzados de Nelore com europeu), nas idades médias de 20 e 24 meses. Nesse trabalho, as correlações entre perímetro escrotal e motilidade espermática e circunferência escrotal e vigor foram baixas para todos os grupos genéticos. Deve-se salientar que, nesse trabalho, a amplitude de idade do período de avaliação foi baixa (20 e 24 meses), e que a baixa correlação entre perímetro escrotal e características do sêmen pode ser o reflexo das grandes modificações das características seminais que ocorrem entre o início da puberdade e a maturidade sexual (Lunstra et al., 1978; Silva et al., 2002). Nesses mesmos grupos genéticos, Valentin (et al.) (2002), compararam o crescimento do perímetro escrotal e, dadas as diferenças de tamanho encontradas entre os zebuínos e cruzados (favoráveis aos 20 meses em 2.4 cm, e, aos 24 meses, em 1.7 cm), indicaram que a avaliação do perímetro não deve

ser feita sem que se leve em consideração a raça dos animais e a idade.

O perímetro escrotal está, também, favoravelmente associado com a idade à puberdade em machos e fêmeas bovinas geneticamente relacionadas a estes machos, e com pesos corporais às várias idades (Knights et al., 1984; Bergmann et al., 1997).

Gressler (et al.) (2000), encontraram que o perímetro escrotal medido aos 12 meses de idade apresentou correlação genética favorável com a data do primeiro parto de fêmeas Nelore. Os resultados desse trabalho indicaram que é possível obter incremento das características reprodutivas das fêmeas via seleção para aumento do perímetro escrotal nos machos.

Conforme Brito (et al.) (2004), touros Nelore (*Bos taurus indicus*), que atingiram a maturidade sexual mais precocemente, foram melhor desenvolvidos (mais pesados e com maior perímetro escrotal) no período da pré-puberdade, e estes atingiram a puberdade num estágio mais precoce de desenvolvimento corporal e testicular quando comparados com touros que foram mais tardios na maturidade, demonstrando que o perímetro escrotal pode ser usado para seleção de touros para precocidade sexual.

Avaliando um rebanho ovino em que os machos foram selecionados pelo perímetro escrotal (maior e menor tamanho), Land, em 1978 encontrou na terceira geração de fêmeas, que as que estavam relacionadas geneticamente com os machos selecionados para maior tamanho testicular, apresentavam o cio três semanas mais cedo que as filhas dos machos selecionados para menor perímetro escrotal, demonstrando a melhora indireta na reprodução das fêmeas mediante a seleção dos machos.

Além de estar relacionado com características reprodutivas, o perímetro escrotal apresenta correlação favorável com características de crescimento corporal. Knights (et al.) (1984), reportaram correlações fenotípicas positivas

entre o perímetro escrotal e o peso ao nascimento (0.15); à desmama (0.19) e ao sobreano (0.26). O mesmo padrão foi observado na correlação genética, sendo que a correlação entre o perímetro escrotal e o peso ao sobreano foi a variável que apresentou o maior valor (0.68). Os autores propõem a hipótese de que os animais geneticamente superiores no crescimento produzam filhos com testículos de maior tamanho e com a habilidade de produzir maior quantidade de sêmen de melhor qualidade que o resto da população.

No Brasil, Valentin (et al.) (2002), encontraram correlação fenotípica positiva entre o perímetro escrotal e peso a várias idades, sendo que, aos 20 meses de idade, a correlação foi de 0.50, e, aos 24 meses, foi de 0.63 para touros Nelore. Para animais cruzados, foram encontrados valores de 0.53 aos 20 meses e 0.51 aos 24 meses.

Bergmann (et al.) (1996) encontraram alta correlação genética entre o perímetro escrotal e o peso corporal (de 0.46 até 0.52) em um rebanho Nelore. Assim, os autores concluem que estes resultados indicam que a seleção para perímetro escrotal não influencia desfavoravelmente o desenvolvimento ponderal dos animais.

Utilização de modelos não-lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal

A maioria dos trabalhos que avaliaram o perímetro escrotal utilizou animais de raças européias, e consideraram o perímetro escrotal a idades fixas. Porém, o perímetro escrotal pode ser medido várias vezes num mesmo animal. A taxa de desenvolvimento testicular pode ser um indicativo da taxa de desenvolvimento sexual dos animais. Assim, os modelos não-lineares surgem como uma ferramenta para caracterizar a relação entre a idade e o perímetro escrotal (Quirino et al., 1999).

Assim, alguns autores têm utilizado estes modelos para descrever o crescimento do perímetro escrotal em ovinos e caprinos. Notter (et al.), em 1985,

ajustaram o parâmetro t do modelo Logístico a 14 dias de idade, que foi observado ser o tempo necessário para o descenso dos testículos à bolsa escrotal em carneiros resultantes de cruzas entre as raças Finnish Landrace, Rambouillet e Dorset. Este ajustamento foi necessário porque o início do crescimento testicular como descrito pela curva Logística é essencialmente proporcional à massa testicular inicial.

Neste trabalho, foram encontradas diferenças no crescimento testicular entre as raças como indicou o parâmetro k , sendo que os animais $\frac{3}{4}$ Finnish Landrace pareceram maturar mais precocemente que animais $\frac{1}{8}$ Finnish Landrace. Este resultado sugere que os testículos dos $\frac{3}{4}$ Finnish Landrace foram maiores ao momento do início do crescimento testicular, ou, alternativamente, que o crescimento testicular destes animais começou mais cedo. O crescimento testicular entre as cruzas das raças Finnish Landrace e Dorset foi similar, como foi demonstrado pelas curvas. Todos os animais apresentaram a maior taxa de crescimento testicular entre os dias 84 e 90 (Finnish Landrace x Rambouillet) e 76 e 90 (Finnish Landrace x Dorset), e todas as diferenças do perímetro escrotal entre os grupos tenderam a ser máximas nesse intervalo de tempo. Foi constatado, nesse estudo, que as diferenças no tamanho do perímetro escrotal entre as diferentes raças de carneiros, entre os 70 e 90 dias, estão associadas com o atendimento da puberdade. As diferenças de perímetro escrotal entre os grupos encontradas no período de maior taxa de crescimento não são, necessariamente, mantida em idades avançadas, consoante demonstrado pela pequena diferença no perímetro escrotal estimada para a idade adulta.

No Brasil, Sousa (et al.), em 1997 compararam os modelos não-lineares Brody, Logístico, Gompertz e Richards para descrever o crescimento do perímetro escrotal em caprinos mestiços criados no nordeste brasileiro, e encontraram que o modelo Logístico foi o que melhor representou o crescimento testicular, em face de apresentar menor soma de quadrado do erro, maior coeficiente de determinação, menor

dificuldade para alcançar a convergência e menor número de iterações, além de ser o modelo que melhor ajustou o perímetro escrotal nas diferentes idades. O ponto de inflexão destes animais foi calculado aos 81 dias de idade e 11.13 cm de perímetro escrotal, o qual coincidiu com o início da espermatogênese e maturação sexual nestes animais. Este resultado coincidiu com os estudos realizados por Notter (et al.) (1985).

Em contraste com os autores anteriores, Bilgin (et al.) (2004), compararam quatro modelos assintóticos não-lineares (Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards) com um modelo não-linear de crescimento indeterminado (Tanaka), para modelar o crescimento do perímetro escrotal em carneiros da raça Awassi (Tanaka, 1982). Entre todos os modelos avaliados, os modelos Tanaka e Logístico apresentaram os maiores coeficientes de determinação e menores desvios-padrão. Todos os modelos assintóticos subestimaram o perímetro escrotal ao nascimento e aos 180 e 210 dias, e o superestimaram aos 90 dias, enquanto o modelo Tanaka previu com precisão o perímetro escrotal em cada idade, sendo, assim, o modelo escolhido para a interpretação biológica dos resultados.

Emsen (2005) também usou o modelo de crescimento indeterminado Tanaka com dois grupos raciais de carneiros e suas cruzas, obtendo resultados similares aos achados por Bilgin (et al.) (2004). Este modelo foi muito eficiente em descrever o crescimento do perímetro escrotal nos quatro genótipos avaliados.

Em 2008, Pacheco encontrou que os melhores modelos não-lineares foram o de Gompertz para descrever o crescimento do perímetro escrotal, e o Logístico para descrever o crescimento corporal em carneiros da raça Santa Inez.

Já, em bovinos, Terawaki (1994), testou várias funções não-lineares para descrever o perímetro escrotal em 57 touros holandeses, detectando que o modelo Logístico foi o melhor. O ponto de inflexão para esta raça foi calculado entre os 18 e 20 meses de idade. Este autor também observou

que o perímetro escrotal aumentou de tamanho até os 30 meses de idade e que, após isso, o crescimento testicular foi pequeno.

No Brasil, em 1997, Freneau (et al.), utilizaram modelos não-lineares para descrever a curva de crescimento do perímetro escrotal em touros de origem *Bos indicus* (Nelore). Para este trabalho foram utilizados dados do perímetro escrotal mensurados mensalmente, desde os 10 até os 31 meses de idade em 20 tourinhos criados sob manejo extensivo. Foram avaliados os modelos Gompertz, Logístico, Brody e Richards, encontrando que a função de Richards apresentou estimativas menos precisas dos parâmetros. As funções de Gompertz, Logística e Brody apresentaram-se muito similares, mas foi a função Logística a escolhida para modelar o desenvolvimento testicular por apresentar a melhor estimação dos parâmetros.

Também no Brasil, Quirino (et al.) (1999), avaliaram 532 touros Nelore nascidos entre os meses de setembro e dezembro de 1992 a 1994. Neste trabalho, quatro funções não-lineares foram comparadas pelo desvio padrão, quadrado médio do erro, coeficiente de determinação, erro de predição médio e pela dificuldade computacional de cada modelo, critério baseado no tempo de processamento dos dados e no número de iterações para alcançar a convergência. Nesse trabalho, a função de Richards não atingiu o critério de convergência e foi eliminada da análise. Os modelos Gompertz, Logístico e Brody apresentaram valores similares para o quadrado médio do erro e coeficiente de determinação e alcançaram a convergência com similar número de iterações. Contudo, foi o modelo Logístico que melhor predisse o perímetro escrotal. Entre os 12 e 42 meses de idade, o perímetro escrotal observado e estimado pelos diferentes modelos foi similar, mas, aos 72 meses de idade, comparando os valores reportados na literatura para touros Nelore, o perímetro escrotal foi superestimado pelos modelos Brody e Gompertz, enquanto o Logístico o estimara corretamente, sugerindo que este modelo foi superior que os outros. O valor estimado pelo modelo Logístico para o

perímetro escrotal à maturidade nesta raça foi de 38 cm, estando um pouco acima do reportado por Freneau (et al.) (1997), para esta mesma raça (36.5 cm) e abaixo do valor reportado por Neves em 2007 (39.82 cm). Estes valores são diferentes aos reportados por Vale Filho (et al.) (1993), para os quais os touros Nelore atingem a maturidade sexual aos 24 meses de idade com 32 cm de perímetro escrotal.

No trabalho de Quirino (et al.) (1999), o ponto de inflexão ocorreu quando o perímetro escrotal atingiu 18.9 cm, aos 13 meses de idade. Este período foi associado a uma rápida proliferação do parênquima testicular o qual sugere o início da puberdade (Macmillan & Hafs, 1968; Valvasori et al., 1985).

Delgado (et al.) (2000), classificaram várias curvas de crescimento em curvas gerais, Logísticas, biológicas e polinômicas e as usou para descrever o crescimento do perímetro escrotal desde a desmama até os 16 meses de idade em tourinhos da raça Retinto, de origem espanhola e utilizada para corte. A curva logística foi a que melhor descreveu o crescimento do perímetro escrotal para esta raça, mas, para avaliar o poder de predição, Delgado (et al.) (2000), concluíram que as curvas estudadas foram complexas devido à necessidade de realizar várias mensurações para estimar com precisão a curva que pudesse caracterizar a cada animal e estimar o perímetro escrotal a determinada idade.

Silva (et al.) (2002), analisaram o perímetro escrotal em função da idade à coleta do sêmen por meio de regressão não-linear, utilizando modelo exponencial negativo, encontrando que o tamanho testicular variou com a idade e que, nos rebanhos da raça Nelore, os testículos param de crescer entre os dois e três anos de idade. A maior taxa de crescimento testicular ocorreu entre os 11.4 e 18 meses, o que coincidiu com as maiores variações na motilidade do sêmen dos touros jovens (desde 5% até 95% de motilidade), cuja variação foi devida, provavelmente, ao desenvolvimento destes animais que deveriam estar na fase puberal ou próximos desta, e,

portanto, apresentando epitélio seminífero em formação (Lunstra et al., 1978).

No Brasil, no início dos anos quarenta, foi desenvolvida a raça Canchim, produto do cruzamento de animais da raça Charolesa (*Bos taurus*) com algumas raças Zebuínas (Indubrasil, Guzerá e Nelore). Em 2003, Nieto (et al.), desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi ajustar diferentes curvas de crescimento para o perímetro escrotal em função da idade em touros da raça Canchim e do grupo genético produto do acasalamento de touros Canchim com vacas Nelore (MA), produzindo fêmeas que, posteriormente, foram acasaladas com touros da raça charolesa. Foram utilizadas as medidas de 5.520 touros da raça Canchim e 1.450 medidas de touros do grupo genético MA que possuíam, pelo menos, uma medida do perímetro escrotal, entre 6 e 12 meses de idade; uma entre 24 e 30 meses e uma entre 36 e 40 meses. Os modelos avaliados foram o Brody, Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy. Nesse trabalho, os resultados obtidos mostraram que o modelo Gompertz foi o que melhor descreveu o crescimento do perímetro escrotal na raça Canchim, e o Logístico foi o mais adequado para descrevê-lo no grupo genético MA. Os autores concluíram que a utilização dos modelos não-lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal pode ser de extrema importância para melhorar a fertilidade dos animais por meio da seleção genética, já que os parâmetros destes modelos podem ser utilizados para selecionar animais que apresentam taxas adequadas de crescimento do perímetro escrotal.

Em 2006, os mesmos autores desenvolveram outro trabalho utilizando os mesmos modelos não-lineares, mas desta vez para descrever o crescimento do perímetro escrotal em touros

da raça Canchim sob diferentes condições de criação. Os autores concluíram que o modelo Logístico, com base nos parâmetros analisados, foi o que melhor descreveu a curva de crescimento do perímetro escrotal em touros da raça Canchim, tanto para animais criados a pasto, como para animais suplementados e criados em confinamento (Nieto et al., 2006).

Também no ano de 2006, Parma (et al.), avaliaram 2.943 mensurações do perímetro escrotal de 198 touros Nelore com os modelos Brody, Logístico e Von Bertalanffy. Neste estudo, foi o modelo Von Bertalanffy o que se ajustou melhor aos valores observados do perímetro escrotal, especialmente até os 21 meses de idade; mas foi o modelo Logístico o que melhor identificou a fase de desaceleração do crescimento testicular.

Neves (2007), utilizou o modelo Logístico para avaliar o crescimento escrotal de 778 touros Nelore criados a pasto. A idade ao ponto de inflexão nestes animais foi de 11.3 meses, depois da qual o perímetro escrotal sofreu decréscimo na taxa de crescimento até próximo aos 36 meses, sendo que, aos 48 meses de idade, o perímetro escrotal dos touros Nelore avaliados nesse estudo estabilizou o seu crescimento.

Conclusão

O estudo das curvas de crescimento em ruminantes tornasse atraente, particularmente em bovinos, por sua aplicação na produção animal já que eles permitem resumir em três ou quatro parâmetros, as características de crescimento de indivíduos ou populações, e identificar animais com características desejáveis como maior peso, precocidade sexual ou de maiores taxas de crescimento, em idades mais jovens.

Referências Bibliográficas

- Abreu, U.G.; Cobuci, J.A.; Da Silva, M.V.G.B. et al. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos pantaneiros. **Archivos de Zootecnia**, v. 53, p.367-370, 2004.
- Afonso, V.A.C.; Quirino, C.R.; Costa, R.L.D. **Utilização de funções não-lineares para descrição de curvas de crescimento em ovinos**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/naolinear/index.htm>.
- Arango, J. L. & Vleck, D.V. Size of beef cows: early ideas, new developments. **Genetics and Molecular Research**, v. 1, n.1, p.51-63, 2002.
- Bergmann, J.A.G.; Zambolini, L.C.; Procópio, C.S.O. Estimativas de parâmetros genéticos do perímetro escrotal e do peso corporal em animais Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 48, n.1, p.69-78, 1996.
- Bergmann, J.A.G.; Quirino, C. R.; Vale Filho, V. R. et al. Herdabilidades e correlações genéticas entre medições testiculares e características espermáticas em touros nelore. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.5, p.473-475, 1997.
- Bilgin, O.C.; Emsen, E.; Davis, M.E. Comparison of non-linear models for describing the growth of scrotal circumference in Awassi male lambs. **Small Ruminants Research**, v.52, p.155-160, 2004.
- Bourdon, M.R. & Brinks, J.S. scrotal circumference in yearling hereford bulls: adjustment factors, heritabilities and genetic, environmental and phenotypic relationships with growth traits. **Journal of Animal Science**, v.62, p.958-967, 1986.
- Brandão, A.L.S. **Modelos não-lineares para análise de dados longitudinais**. Campinas, Brasil: Instituto de matemática estatística e computação científica, UNICAMP, 1996. 137p. Dissertação (Mestrado em Estatística).
- Brinks, J.S. **Relationships of scrotal circumference to puberty and subsequent reproductive performance in male and female offspring**. In: Fields, M.J; e Sand, R.S. Factors affecting calf crop. Boca raton, Florida: CRC Press, 1994. p.363-370.
- Brito, L.F.C.; Silva, A.E.D.F.; Unanian, M.M. et al. Sexual development in early-and late-maturing Bos indicus and Bos indicus-Bos taurus crossbred bulls in Brazil. **Theriogenology**, v. 62, p.1198-1217, 2004.
- Brody, S. **Bioenergetics and Growth with Special Reference to the energetic Efficiency Complex in Domestic Animals**. New York: Reinhold Publ. 1945. 1023 p.
- Brown, J. E.; Fitzhugh, H. A.; Cartwright, T. C. A Comparison of Nonlinear Models for Describing Weight-Age Relationships in Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 42, p.810-818, 1976.
- Carneiro, P.L.S.; Malhado, C.H.M.; Afonso, P.R.A.M. et al. Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, n.3, p.536-545, 2009.
- Carrijo, S.M. & Duarte, F.A.M. Description and comparison of growth parameters in Chianina and Nelore cattle breeds. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, n.2, p.187-196, 1999.
- Delgado, C., Valera, M., Molina, A. et al. Circunferência escrotal como predictor de la capacidad reproductiva en razas de vacuno de carne autóctono: curvas de crecimiento en el vacuno retinto. **Archivos de Zootecnia**, v.49, p.229-240, 2000.
- Dias, J.C.; Andrade, J.V.; Martins, J.A.M. et al. Correlações genéticas e fenotípicas entre características reprodutivas e produtivas de touros da raça Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.53-59, 2008.
- Emsen, E. Testicular development and body weight gain from birth to 1 year of age of Awassi and Redkaraman sheep and their reciprocal crosses. **Small Ruminants Research**, v.59, n. 1, p.79-82, 2005.
- Fekedulegn, D. M.; Siurtaín, P.M.; Colbert, J.J. Parameter Estimation of Nonlinear Growth Models in Forestry. **Silva Fennica**, v.33, p.327-336, 1999.
- Fitzhugh, H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, p.1036-1051, 1976.
- Forni, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça Nelore, utilizando modelos não-lineares em análises bayesianas**. Jaboticabal, Brasil: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 2007. 65p. Tese (Doutorado em Zootecnia).
- Freitas, A.R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**.

- v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- Freneau, G.E.; Quirino, C.R.; Conceição, V.Jr. et al. Curvas de crescimento da circunferência escrotal em touros Nelore. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.21, n.2, p.32-34, 1997.
- Fuentes, M.N.M.; Peralta, L.A.P.; Vadillo, J.C.V. et al. Crecimiento de bovinos machos en sistemas de doble propósito en el trópico. In: XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, **Memorias...**Veracruz, 2007.
- Gómez, D.A.A.; Muñoz, M.F.C.; Betancur, L.F.R. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v.21, p.39-58, 2008.
- Gressler, S.L.; Bergmann, J.A.G.; Pereira, C.S. et al. Estudo das Associações Genéticas entre Perímetro Escrotal e Características Reprodutivas de Fêmeas Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.427-437, 2000.
- Grosjean, P. **Growth model of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus***. Bruxelles, Belgica: Faculte des Sciences, Universite Libre de Bruxelles, 2001. 271p. Tese (Doctor of Agronomic Sciences).
- Knights, S.A.; Baker, R. L.; Gianola, D. et al. Estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations among growth and reproductive traits in yearling angus bulls. **Journal of Animal Science**, v.58, n.4, 1984.
- Lamare, M.D. & Mladenov, P. Modeling somatic growth in the sea urchin *Evechinus chloticus* (Echinoidea: Echinometridae). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.243, p.17-43, 2000.
- Land, R.B. Reproduction in young sheep: some genetic and environmental sources of variation. **Journal of Reproduction and Fertility**, v.52, p.427-436, 1978.
- Latimer, F.G.; Wilson, L.L.; Cain, M.F. Scrotal measurements in beef bulls: heritability estimates, breed and test station effects. **Journal Animal Science**, v.54, no.3, p.473-479, 1982.
- Lunstra, D.D.; Ford, J.J.; Echternkamp, S.E. Puberty in beef bulls: hormone concentrations, growth, testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bull of different breeds. **Journal Animal Science**, v.46, p.1054-1062, 1978.
- Macmillan, K. L.; Hafs, H. D. Pituitary and hypothalamic endocrine changes associated with reproductive development of Holstein bulls. **Journal Animal Science**, v.27, p.1614-1620, 1968.
- Malhado, C.H.M.; Ramos, A.A.; Carneiro, P.L.S. et al. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.220, p.497-503, 2008.
- Mazzini, A.R.A.; Muniz, J.A.; Aquino, L.H. et al. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciências e Agrotecnologia**, v.27, n.5, p.1105-1112, 2003.
- Mendez, P.N. **Curvas de crescimento difásicas de fêmeas Hereford com erros auto-regressivos e heterogeneidade de variâncias**. Lavras, Brasil: Universidade Federal de Lavras. 2007. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- Nelder, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-110, 1961.
- Neter, J & Wasserman, W. **Applied linear statistical models**. Homewood: Richards D. Irwin, Inc. 1974. 842p.
- Neves, A.L.A. **Biometria e morfologia testicular em bovinos da raça Nelore criados a pasto**. Itapetinga, Brasil: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2007. 49 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia).
- Nieto, M.L.; Silva, L.O.C.; Rosa, A.N.A. et al. Análise da curva de crescimento da circunferência escrotal de touros da raça Canchim e do grupo genético MA. **Archives of Veterinary Science**, v.8, n.1, p.75-79, 2003.
- Nieto, L. M.; Silva, L. O. C.; Gondo, A. Análise da curva de crescimento do perímetro escrotal de touros Canchim em diferentes sistemas de criação. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, v.9, n.2, p.99-103, 2006.
- Noguera, R.R.; Pereira, R. L.; Solarte, C. E. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. **Livestock Research for Rural Development**, v.20, n.5, 2008.
- Notter, D. R.; Lucas, J. R.; McLaugherty F. S. et al. Breed group differences in testicular growth patterns in spring-born ram lambs. **Journal of Animal Science**, v.60, p.622-631, 1985.
- Oliveira, H. N. **Análise genético-quantitativo da curva do crescimento de fêmeas da raça**

- Guzerá.** Ribeirão Preto, Brasil: Faculdade de Medicina veterinária USP, 1995. 73p. Tese (Doutorado em Ciências).
- Oliveira, H. N.; Lôbo, R.B.; Pereira, C.S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1843-1851, 2000.
- Oliveira, M.M.; Rota, E.L.; Dionello, N.J. et al. Herdabilidade e correlações genéticas do perímetro escrotal e idade ao primeiro parto com características produtivas em bovinos de corte: revisão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, p.141-146, 2007.
- Parma, L.S.; Garneró, A.V.; Gunsky, R.J. et al. Caracterización del crecimiento testicular em vacuno Nelore. **Archivos de Zootecnia**, v.55, p.105-108, 2006.
- Pereira, E.; Eler, J.P.; Ferraz, J.B.S. Correlação Genética Entre Perímetro Escrotal e Algumas Características Reprodutivas na Raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1676-1683, 2000.
- Posada, S.L.; Noguera, R.R. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuárias**, v.20, p.141-148, 2007.
- Quirino, C.R. **Herdabilidades e correlações genéticas entre medições testiculares, características seminais e libido em touros Nelore.** Belo Horizonte, Brasil: Escola de Veterinária, UFMG, 1999. 104p. Tese (Doutorado em ciência animal).
- Quirino, C.R.; Bergmann, J.A.G.; Vale Filho, V.R. et al. Evaluation of four mathematical functions to describe scrotal circumference maturation in Nelore bulls. **Theriogenology**, v.52, p.25-34, 1999.
- Santoro, K.R.; Barbosa, S.B.P.; Brasil, L.H.A. et al. Estimativas de Parâmetros de Curvas de Crescimento de Bovinos Zebu, Criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2262-2279, 2005 (supl.).
- Sarmento, J.L.E.; Regazzi, A.J.; De Sousa, W.H. et al. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.435-442, 2006.
- Sarreiro, L.C.; Bergmann, J.A.G.; Quirino, C.R. et al. Herdabilidade e correlação genética entre perímetro escrotal, libido e características seminais de touros Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.1., n.6, p.54, 2002.
- 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 em gado Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.5, p.1195-1205, 2001.
- Silva, A.E.D.; Unanian, M.M.; Cordeiro, C.M.T. et al. Relação da Circunferência Escrotal e Parâmetros da Qualidade do Sêmen em Touros da Raça Nelore, PO. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1157-1165, 2002.
- Silva, N.A.M. **Modelo hierárquico bayesiano aplicado na avaliação genética de curvas de crescimento.** Lavras, Brasil: Universidade Federal de Lavras, 2008. 47p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária).
- Smith, B.A.; Brinks, J.S. Estimation of genetic parameters among breeding soundness examination components and growth traits in yearling bulls. **Journal of Animal Science**, v.67, p.2892-2896, 1989.
- Sousa, G. S. **Diagnostico no modelo geral.** In: Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. Brasília, Brasil: EMBRAPA, 1998, p.395-443.
- Sousa, W.H.; Quirino, C.R.; Gonzales, C. Uso de funciones no lineales para describir el crecimiento de los testículos en caprinos mestizos en Brasil. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.5, p.476-478, 1997.
- Tanaka, M. A new growth curve wich express infinite increase. **Publications of the Amakusa Marine Biological Laboratory**, v.6, p.167-177, 1982.
- Tedeschi, L.O.; Boin, C.; Nardon, R.F. et al. 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.
- Terawaki, Y.; Sueda, E.; Matuzaki, S. Relationships between testicular growth and body measurements in Holstein bulls. **Animal Science Technology**, v.65, p.1044-1050, 1994.
- Tornero, M. T. T. **Utilização de modelos assintóticos-sigmóides de crescimento multifásico com sazonalidade em estudos zootécnicos.** Botucatu, Brasil: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade

- Estadual Paulista, 1996. 131p. Tese (Doutorado em Zootecnia/ Nutrição e Produção Animal).
- Vale Filho, R.V.; Fonseca, V.O.; Freneau, G.E. et al. Desenvolvimento testicular e maturidade sexual em bovinos. **Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG**, n.8, p.63-75, 1993.
- Valentim, R.; Arruda, R.P.; Barnabe, R.C. Biometria testicular de touros Nelore (*Bos taurus indicus*) e touros cruzados Nelore-europeu (*Bos taurus indicus* x *Bos taurus taurus*) aos 20 e 24 meses de idade. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.39, n.3, p.113-120, 2002.
- Yin, X.; Goudriaan, J.; Lantinga, E.A. et al. A flexible sigmoid function of determinate growth. **Annals of Botany**, v.91, p.361-371, 2003.