



GABRIELA RODRIGUES VIEIRA

**GROWTH CURVE AND GENETIC PARAMETERS FOR
CARCASS TRAITS IN CATTLE**

LAVRAS – MG

2019

GABRIELA RODRIGUES VIEIRA

**GROWTH CURVE AND GENETIC PARAMETERS FOR CARCASS TRAITS IN
CATTLE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Orientador

Prof. Dra. Sarah Laguna Conceição Meirelles

Coorientadora

LAVRAS - MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Vieira, Gabriela Rodrigues.

Growth curve and genetic parameters for carcass traits in cattle
/ Gabriela Rodrigues Vieira. - 2019.

74 p. : il.

Orientador(a): Rilke Tadeu Fonseca de Freitas.

Coorientador(a): Sarah Laguna Conceição Meirelles.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Curva de crescimento. 2. Herdabilidade. 3. Correlação
Genética. I. Freitas, Rilke Tadeu Fonseca de. II. Meirelles, Sarah
Laguna Conceição. III. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade d(a) autor(a) e de seu orientador(a).

GABRIELA RODRIGUES VIEIRA

**GROWTH CURVE AND GENETIC PARAMETERS FOR CARCASS TRAITS IN
CATTLE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 13 de março de 2019

Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas - UFLA

Prof. Dra. Sarah Laguna Conceição Meirelles - UFLA

Prof. Dr. Tales Jesus Fernandes - UFLA

Prof. Dra. Maria Eugênia Zerlotti Mercadante - IZ

Prof. Dr. Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Orientador

Prof. Dra. Sarah Laguna Conceição Meirelles

Coorientadora

LAVRAS - MG

2019

Aos meus pais Lucia e Antônio pelo amor incondicional, ensinamentos e por sempre acreditar e confiar em mim.

Aos familiares e amigos por todo carinho.

Eu amo muito vocês!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

A Deus, meu refúgio e fortaleza, pelo dom da vida e por ter me concedido mais essa vitória.

A Universidade Federal de Lavras, Departamento de Zootecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelo apoio.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A querida professora Sarah pela oportunidade de realização deste trabalho, orientação, confiança, dedicação, ensinamentos e pelos bons anos de amizade e convivência, além ser uma “mãezona” para todos.

Aos professores Rilke, Joel e Tales pela orientação, confiança e ensinamentos. A todos os demais professores e técnicos que contribuíram para minha formação

Ao Grupo Casa Branca Agropastoril Ltda., por contribuir com a realização deste trabalho.

Ao Grupo de Melhoramento Animal e Biotecnologia (GMAB), pelos conhecimentos adquiridos e amizade.

Aos meus pais por todo amor, confiança, ensinamento, paciência... sem vocês nada disso seria possível.

Ao Thiago, pelo companheirismo, amor e paciência. As minhas primas e amigas Maryá, Ana, Alessa e Bárbara, por terem compartilhado tanto carinho e alegria em nossa casa.

A todos os familiares e amigos pelo apoio e torcida.

Muito Obrigada!

RESUMO

Os objetivos neste trabalho foram avaliar o ajuste dos modelos não lineares a dados longitudinais e transversais de peso vivo de machos da raça Angus, a fim de selecionar o melhor modelo, e prever sobre o crescimento e a maturidade desses animais. Além disso, foram estimados os componentes de (co)variância, herdabilidade e correlação de características de carcaça e desempenho em bovinos da raça Angus. Os dados utilizados foram provenientes do banco de registros da Fazenda Santa Éster, da Casa Branca Agropastoril Ltda. Os modelos foram comparados quanto a qualidade do ajuste utilizando os critérios: coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike (AIC). A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelo método de mínimos quadrados, com base em rotina do software R. Os componentes de covariância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando-se um modelo animal com efeitos fixos e os efeitos aleatórios genético aditivo direto e residual, utilizando o programa AIREML. No capítulo I, o peso adulto estimado pelos modelos variou entre 588 Kg a 627 Kg. Observou-se um comportamento antagônico entre os parâmetros peso adulto e índice de maturidade. Houve uma maior intensidade do crescimento até aproximadamente cinco meses de idade e a partir dos 36 meses observou-se que a curva de crescimento tende a se estabilizar. Os critérios de qualidade de ajustes indicaram que o modelo Von Bertalanffy foi o mais adequado para descrever a curva de crescimento de bovinos Angus. No capítulo II, o peso adulto estimado pelos métodos longitudinal e transversal foram 461 Kg e 627 Kg, respectivamente. Observou-se que o padrão do crescimento na metodologia longitudinal é intenso e contínuo até a idade estudada de 21 meses. A metodologia transversal apresentou um melhor ajuste de peso assintótico e índice de maturidade ao conjunto de dados estudados e o padrão de crescimento apresentou formato sigmoide. Assim, afirmou-se que o método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento em bovinos, reduzindo o tempo para a construção da curva de crescimento dos animais. No capítulo III, a herdabilidade (h^2) estimada para a característica espessura de gordura na garupa (EGP8) foi de baixa magnitude (0,18). Para as características peso, espessura de gordura subcutânea (EGS) e percentagem de gordura intramuscular (PGI), as h^2 foram moderadas (0,36, 0,22 e 0,36, respectivamente) e a h^2 para área de olho de lombo (AOL) foi de alta magnitude (0,41). As estimativas de correlações genéticas entre as características peso e AOL (0,91), peso e EGS (0,83), peso e EGP8 (0,77), AOL e EGP8 (0,78) e entre EGS e EGP8 (0,99) foram positivas e de alta magnitude. A correlação entre peso e PGI foi alta e negativa (-0,85). Correlações de moderada magnitude foram estimadas entre as características AOL e EGS (0,50) e entre AOL e PGI (-0,59). A correlação entre EGS e PGI (0,23) foi de baixas magnitudes. Os resultados indicam que selecionando para peso podemos obter resposta à seleção nas características de carcaça, com exceção para a PGI.

Palavras-chave: Carcaça. Correlação Genética. Herdabilidade. Método longitudinal. Método transversal. Peso Vivo.

ABSTRACT

The aims of this study were to evaluate the adjustment of nonlinear models to longitudinal and transversal methods live weight data of Angus males in order to select the best model. In addition, we also aimed to estimate the components of (co)variance, heritability and correlation of carcass traits and performance in Angus cattle. The experimental data were obtained from Santa Éster farm of Casa Branca Agropastoril Ltda. The models were compared following goodness-of-fit criteria: coefficient of determination (R^2), residual standard deviation (RSD) and Akaike information criterion (AIC). The model parameters were estimated by the least squares method, based on the R software routine. The covariance components were estimated by Restricted Maximum Likelihood methodology using an animal model with fixed effects and random additive and direct genetic effects with the AIREML program. In Chapter I, the adult weight estimated by the models ranged from 588 kg to 627 kg. Antagonistic behavior was observed between the adult weight and precocity index parameters. There was a greater intensity of growth up to approximately five months of age and from 36 months of age on it was observed that the growth curve tends to stabilize. The goodness-of-fit criteria indicated that Von Bertalanffy was the most suitable model to describe growth curve of Angus cattle. In Chapter II, adult weights estimated by the longitudinal and transversal methods were 461 kg and 627 kg, respectively. It was observed that the growth pattern in the longitudinal methodology was intense and continuous up to 21 months of age. The transversal methodology showed a better adjustment of asymptotic weight and maturity index to the data set studied and the growth pattern had a sigmoid formation. Thus, it was stated that the transversal method of data collection can be applied in the study of growth curves in cattle, reducing the time needed for the construction of animal's growth curve. In Chapter III, the heritability (h^2) estimated for the characteristic rump fat thickness (RFT) was of low magnitude (0.18). For the characteristics of weight, subcutaneous fat thickness (SFT) and percentage of intramuscular fat (IMF), h^2 were moderate (0.36, 0.22 and 0.36, respectively) and h^2 for rib eye area (REA) was of high magnitude (0.41). Estimates of genetic correlations between weight and REA (0.91), weight and SFT (0.83), weight and RFT (0.77), REA and RFT (0.78) and between SFT and RFT (0.99) were positive and of high magnitude. The correlation between weight and IMF was high and negative (-0.85). Correlations of moderate magnitude were estimated between REA and SFT (0.50) and REA and IMF (-0.59). The correlation between SFT and IMF (0.23) was low magnitude. The results indicate that selecting for weight we can obtain a response to selection in the carcass characteristics, except for IMF.

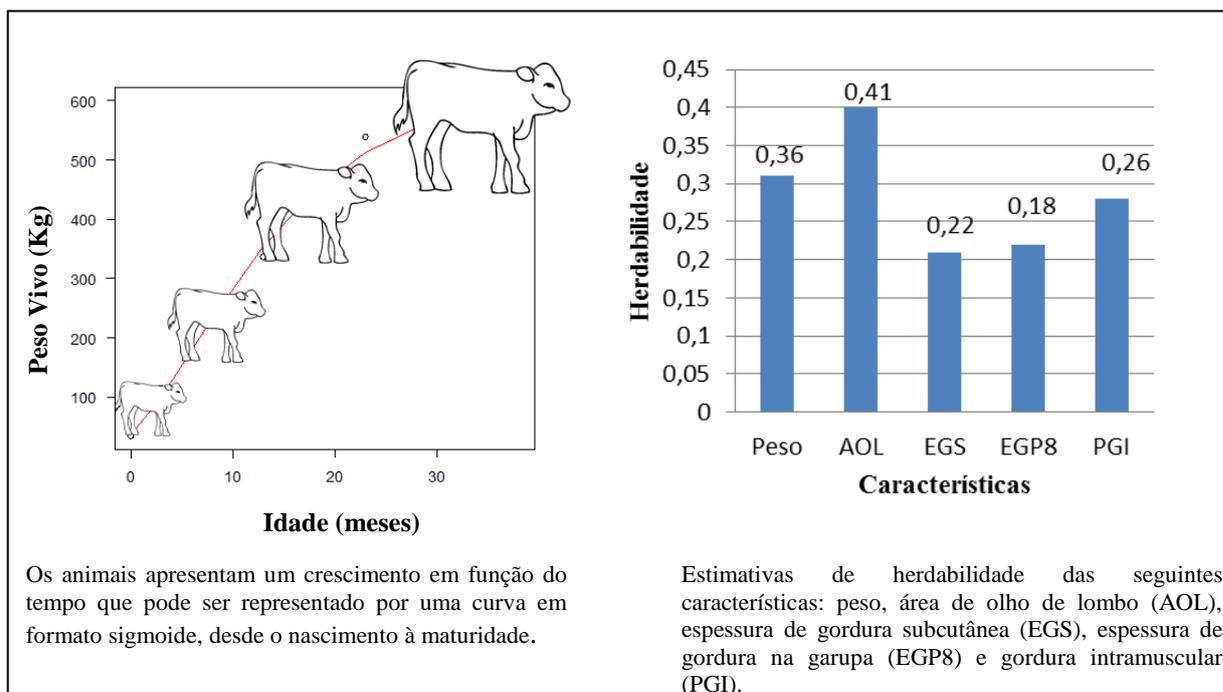
Keywords: Carcass. Genetic Correlation. Heritability. Live Weight. Longitudinal method. Transversal method.

Resumo Interpretativo e Resumo Gráfico

Curva de crescimento e parâmetros genéticos de características de carcaça em bovinos

Elaborado por **Gabriela Rodrigues Vieira** e orientada por **Rilke Tadeu Fonseca de Freitas**

Com intuito de compreender a relação entre o peso vivo e idade do animal, o estudo de curvas de crescimento é utilizado, pois resume as informações e fornece parâmetros com interpretação biológica, que são de interesse no ponto de vista de manejo e seleção. Dois parâmetros genéticos, a herdabilidade (que indica o quanto a característica é realmente herdável) e as correlações genéticas (que indicam o quanto a seleção para uma característica influencia em outra), precisam ser conhecidos para o delineamento de um programa de seleção. Os objetivos com este trabalho foram avaliar como se comporta a curva de crescimento de animais da raça Angus (capítulo I e II) e estimar os parâmetros genéticos para peso e características de carcaça (capítulo III). Nos capítulo I, observou-se maior intensidade do crescimento até aproximadamente cinco meses de idade e a partir dos 36 meses observou-se que a curva de crescimento tende a se estabilizar. No capítulo II, verifica-se que o método transversal de coleta de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento em bovinos, reduzindo o tempo para a construção da curva de crescimento dos animais. No capítulo III, demonstra-se que a inclusão das características de carcaça e peso avaliadas em programas de seleção da raça Angus, deve resultar em modificações na população e que o ultrassom é uma tecnologia apropriada pois capta a variação fenotípica para a mensuração destas características.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de crescimento animal, em formato sigmoidal, desde a concepção à maturidade 18

Figura 2 - Ordem de deposição dos tecidos nos animais..... 19

Figura 3 - Efeito do tamanho à maturidade sobre a composição corporal em bovinos.....20

CAPÍTULO I: GROWTH CURVE MODELING IN ANGUS CATTLE

Figure 1 - Weights predicted by the Gompertz, Logistic, and von Bertalanffy models according to weights observed for males of the Angus breed..... 39

Figure 2 - Representation of the growth curve in live weight, with respective confidence interval, of the non-linear von Bertalanffy model for males of the Angus breed. 43

CAPÍTULO II: CURVA DE CRESCIMENTO DE MACHOS DA RAÇA ANGUS: PELAS METODOLOGIAS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

Figura 1 - Representação das curvas de crescimento em peso vivo, obtidas pelo métodos longitudinal (A) e transversal (B) de coleta de dados no modelo Von Bertalanffy para machos da raça Angus 56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade para características de carcaça e peso, segundo alguns autores27
- Tabela 2 - Estimativas de correlações genéticas para características de carcaça e peso, segundo alguns autores28

CAPÍTULO I: GROWTH CURVE MODELING IN ANGUS CATTLE

- Table 1 - Age class (class), average age within the class (age), number of weight measurements per class (N data), mean weight (weight) observed, respective variances over time, and the inverse of these variances (weighting factor)..37
- Table 2 - P-value of the Shapiro-Wilk (SW) test, coefficient of determination (R^2), residual standard deviation (RSD), and Akaike information criterion (AIC) in assessment of the fit of growth models of live weight for males of the Angus breed.....38
- Table 3 - Estimated parameters and lower and upper limits of the confidence intervals for the three models in description of the growth curve of live weight of males of the Angus breed..... 40
- Table 4 - Mean of age per class, weights observed and those predicted by the von Bertalanffy model, and the lower and upper limits of the confidence interval according to the age of males of the Angus breed44

CAPÍTULO II: CURVA DE CRESCIMENTO DE MACHOS DA RAÇA ANGUS: PELAS METODOLOGIAS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

- Tabela 1 - Classes de idade (classes), idade média dentro das classes (idade), número de dados de peso por classe (N dados), peso médio (peso) observados, desvio padrão e variâncias no decorrer do tempo obtidas pelo método longitudinal de coleta de dados53
- Tabela 2 - Classes de idade (classes), idade média dentro das classes (idade), número de dados de peso por classe (N dados), peso médio (peso) observados, desvio padrão e variâncias no decorrer do tempo obtidas pelo método transversal de coleta de dados 53
- Tabela 3 - Parâmetros estimados e avaliadores de qualidade de ajuste do modelo Von Bertalanffy na descrição da curva de crescimento em peso vivo de machos Angus..... 54

CAPÍTULO III: ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE CARÇA EM BOVINOS DA RAÇA ANGUS

- Tabela 1 - Estrutura dos dados e estatísticas descritivas das características peso, área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS), espessura de gordura na garupa (EGP8), porcentagem de gordura intramuscular (PGI) e idade na mensuração de bovinos da raça Angus..... 65
- Tabela 2 - Estimativas dos componentes de variância e herdabilidade para características de carça e peso obtidas por análises uni-características para bovinos da raça Angus.....66
- Tabela 3 - Correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) para características de carça e peso obtidas por análises bi-características para bovinos da raça Angus..... 68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Raça Aberdeen Angus	16
2.2	Crescimento e desenvolvimento animal.....	17
2.3	Aplicação da modelagem estatística no estudo do crescimento animal.....	20
2.4	Qualidade de carne.....	22
2.4.1	Área de Olho de Lombo	23
2.4.2	Espessura de Gordura Subcutânea.....	23
2.4.3	Gordura na garupa.....	24
2.4.4	Gordura intramuscular.....	24
2.5	Características de crescimento	25
2.6	Parâmetros genéticos.....	26
	REFERÊNCIAS	29
	CAPÍTULO I: GROWTH CURVE MODELING IN ANGUS CATTLE	33
	ABSTRACT	33
1	INTRODUCTION	34
2	MATERIALS E METHODS.....	35
2.1	Data	35
2.2	Fitting the curve.....	36
3	RESULTS AND DISCUSSION.....	37
4	CONCLUSION	44
	REFERENCES	45
	CAPÍTULO II: CURVA DE CRESCIMENTO DE MACHOS DA RAÇA ANGUS: PELAS METODOLOGIAS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL	48

RESUMO.....	48
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 Dados	50
2.2 Ajuste da curva	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	59
CAPÍTULO III: ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA EM BOVINOS DA RAÇA ANGUS	61
RESUMO.....	61
1 INTRODUÇÃO	62
2 MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1 Dados	62
2.2 Estimativas de parâmetros genéticos.....	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte prevalece em todo território nacional devido à grande variabilidade de raças e dentro de raças podendo existir animais adaptados aos diversos climas e regiões do país e devido aos fatores econômicos e sociais da atividade.

Com intuito de compreender melhor a dinâmica entre o peso vivo em relação à idade, o estudo de curvas de crescimento animal a partir de modelos não lineares vem sendo utilizado como um método de análise do desenvolvimento de diversas espécies, pois apresenta a capacidade de resumir as informações contidas nos dados em um conjunto definido de parâmetros com interpretação biológica, de interesse no ponto de vista de manejo e seleção (FREITAS, 2005; MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2009).

Existem duas formas principais de coleta de dados para construção das curvas de crescimento animal: o método transversal e o longitudinal. O método transversal é mais usado nos estudos de pediatria, a fim de, entender melhor o crescimento humano, sendo este menos oneroso, mais rápido e prático (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011). No método transversal, as curvas são obtidas a partir de medidas tomadas uma única vez nos indivíduos de várias idades diferentes. Um dos primeiros trabalhos utilizando este método em animais foi realizado com a espécie equina, por Souza et al. (2017), comprovando sua eficiência e praticidade. Já no método longitudinal, os dados são tomados nos mesmos animais, desde o nascimento até a idade adulta. Este método é o mais utilizado em estudo de crescimento animal, no entanto, demanda longo tempo de coleta de dados (ZEFERINO et al., 2003).

O estudo dos componentes de variância e das estimações dos parâmetros genéticos de características de qualidade de carne de bovinos de corte é de grande importância para o desenvolvimento da pecuária de corte nacional. O conhecimento desses parâmetros é indispensável para a determinação do critério de seleção e na predição do ganho genético do rebanho.

Desta forma são necessários estudos que avaliem a curva de crescimento de bovinos através de modelos de regressão não lineares, pelas duas metodologias, longitudinal e transversal, para conhecer e determinar se a metodologia transversal pode ser utilizada em bovinos, facilitando e agilizando o conhecimento de como se comporta o crescimento desses

animais em relação à idade. Além disso, conhecer os componentes de (co)variância, herdabilidade e correlação de características de importância econômica em bovinos de corte é de grande importância para conhecer como deve ser o comportamento destas em programas de seleção.

Neste trabalho será apresentada uma revisão literária sobre o tema da pesquisa e posteriormente será discutida nos capítulos I e II a modelagem da curva de crescimento de bovinos da raça Angus e o no capítulo III as estimativas de parâmetros genéticos para peso e características de carcaça.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Raça Aberdeen Angus

A raça Aberdeen Angus teve origem em terras altas do norte da Escócia, nos condados de Shires e Aberdeen-Angus. Foi introduzida no Brasil na região do Rio Grande do Sul e seu primeiro registro genealógico foi realizado em 1906, com a importação de um reprodutor do Uruguai (ABA, 2018).

É uma raça que possui pelagem preta (genes dominantes) ou vermelha (genes recessivos). Tem tamanho moderado e é considerada uma raça de boa habilidade materna. Estes bovinos são caracterizados pela composição e maturidade sexual precoce, por possuírem facilidade ao parto, boa aptidão leiteira e carne com excelente gordura intramuscular (ARBOITTE, 2010).

O crescimento adequado e a capacidade de criação combinada com o alto marmoreio da carne resultam na geração de produtos com carne de alta qualidade. Além disso, o gado Angus é uma escolha popular nos programas de cruzamento (MCGUIRE, 2013). A popularidade da raça Angus se deve a sua capacidade de oferecer características desejáveis para o sistema produtivo, tanto maternas como de acabamento, portanto tem sido alvo de várias pesquisas.

A raça teve um crescimento acentuado nos anos, sendo responsável por 48 % do sêmen vendido no país, principalmente para o uso em cruzamentos industriais como, por exemplo, com a raça Nelore e Brahman (ASBIA, 2017).

2.2 Crescimento e desenvolvimento animal

Em sistemas de produção animal, o conhecimento dos fatores que determinam o crescimento e o desenvolvimento dos tecidos e do organismo como um todo, são fundamentais para a adequação de programas de melhoramento genético, uma vez que possibilita a identificação de indivíduos que crescem com maior eficiência, garantindo, na maioria das vezes, o sucesso da atividade (BRIDI, 2018).

Verifica-se que o crescimento inicia por ocasião da concepção e segue até a maturidade do animal. O crescimento é caracterizado pelo aumento de peso, comprimento, altura e circunferência em função da idade. Já, o desenvolvimento implica em mudanças na conformação corporal e das funções do organismo.

O processo de crescimento é regulado pela miogênese que resulta da ativação de vários mecanismos bioquímicos e fisiológicos que se desenvolve em etapas (sinalização, ativação, determinação e diferenciação celular) e respondem pelo crescimento, manutenção e reparos das fibras musculares, que de forma direta impacta a qualidade da carne bovina. O aumento do tamanho da fibra muscular está limitado por fatores genéticos e nutricionais que irão determinar a capacidade do músculo sintetizar proteínas musculares (OWENS et al., 1993).

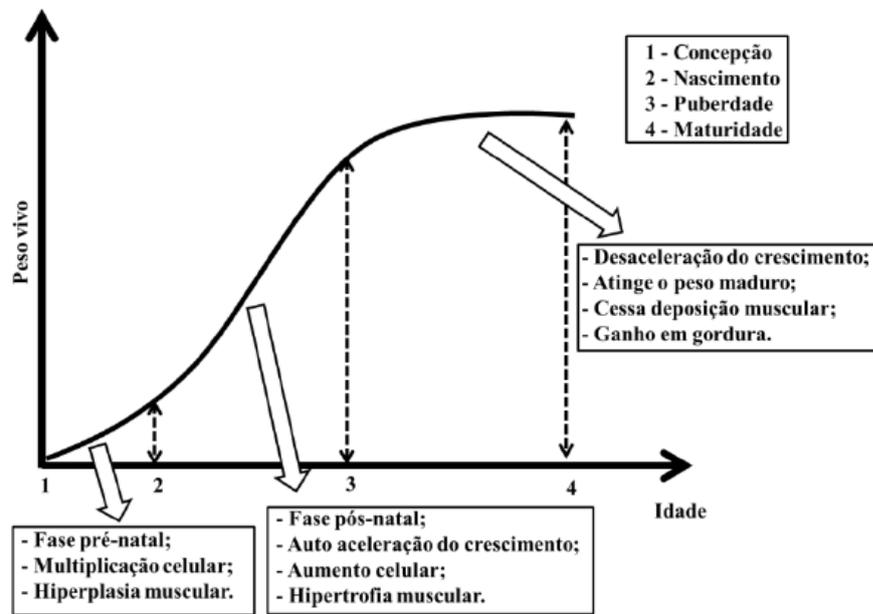
Os animais apresentam um crescimento em função do tempo que pode ser representado por uma curva em formato sigmoide (LAWRENCE; FOWLER, 2002; FREITAS, 2005), é composta por uma fase pré-puberdade de auto-aceleração e de outra pós-puberdade de auto-inibição (Figura 1).

Destacam-se dois pontos importantes da curva. Primeiro o ponto de inflexão, onde o crescimento passa da fase de auto-aceleração para auto-inibição. A partir deste ponto, ocorrem importantes alterações na deposição dos tecidos da carcaça e na eficiência alimentar.

Já a maturidade ou peso adulto é o ponto no qual cessa o crescimento muscular e ósseo e o ganho de peso passa a ser composto exclusivamente de gordura (FREITAS, 2005).

O peso adulto é positivamente associado com o peso no qual a fase de acúmulo de gordura é iniciada. Como resultado, o bovino com potencial maior de tamanho à maturidade (raças taurinas, por exemplo), normalmente cresce mais rápido e começa a acumular gordura com peso mais elevado, em relação a seus contemporâneos de tamanho menor.

Figura 1 – Curva de crescimento animal, em formato sigmoidal, desde a concepção à maturidade



Fonte: Adaptado de OWENS et al. (1993).

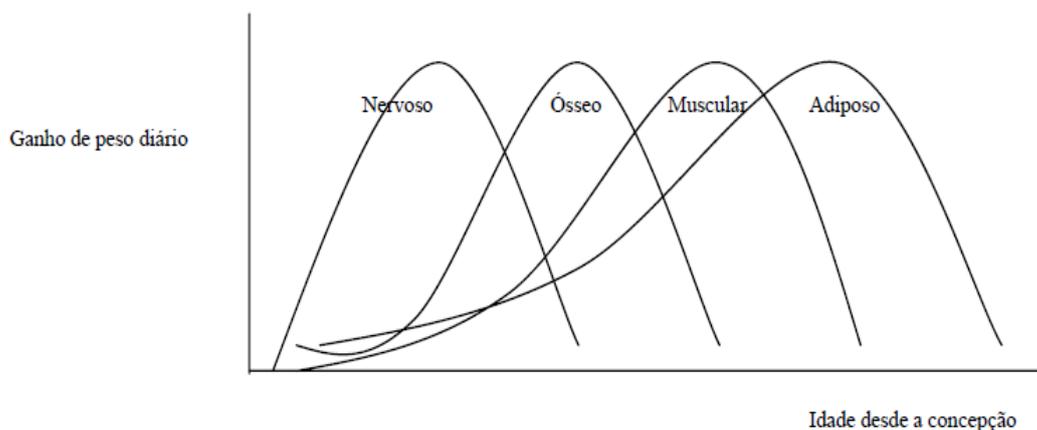
Os diferentes tecidos do corpo do animal estão sujeitos ao crescimento e desenvolvimento, porém isso acontece de forma e ordem diferenciada para cada um deles. O crescimento apresenta características alométricas, ou seja, cada tecido possui velocidade diferente de crescimento (Figura 2).

O crescimento ósseo pós-natal é pequeno, apresentando desenvolvimento mais precoce, mantendo-se constante praticamente durante a vida toda do animal. O tecido

muscular tem seu maior desenvolvimento após o nascimento, sendo mais tardio em relação aos ossos, predominando até atingir a maturidade, sendo o principal constituinte do ganho de peso. O tecido adiposo é o último a se depositar, tendo seu crescimento de maneira mais acentuada após a puberdade, quando o crescimento muscular começa a diminuir (MANELLA; BOIN, 2002). A partir deste ponto, a maior parte dos alimentos fornecidos ao animal será convertida em gordura.

Durante o crescimento, o indivíduo experimenta aumento de massa e alteração da forma corporal, em intensidade dependente das prioridades de desenvolvimento dos tecidos, na seguinte ordem: nervoso, ósseo, muscular e adiposo; onde o tecido adiposo apresenta ordem de deposição diferente: primeiro a gordura gastrointestinal, seguido pela gordura intermuscular, gordura subcutânea, e por último a gordura intramuscular (OWENS et al., 1993).

Figura 2 – Ordem de deposição dos tecidos nos animais



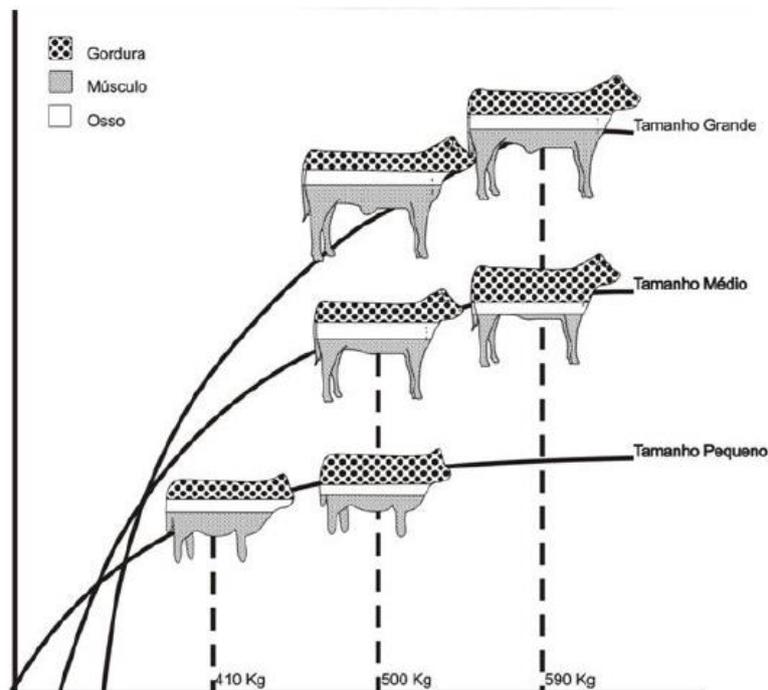
Fonte: Adaptado de HECHT (1916) E PÁLLSON (1952), citado por LAWRENCE E FOWLER (2002).

O ganho de peso de animais de grande porte em um determinado peso vivo consiste numa composição maior de músculos e ossos com uma menor taxa de deposição de gordura quando comparado com animais de tamanho inferiores (Figura 3). Devido a menor quantidade de gordura presente em animais de grande porte, o rendimento de cortes cárneos é maior

devido ao aumento de massa muscular e área de olho de lombo quando comparados com animais de pequeno porte avaliados na mesma idade (LUCCHIARI FILHO, 2000).

A estrutura corporal pode ser utilizada para monitorar o peso dos animais, seu nível de gordura e taxa de maturidade, com vistas a manter o gado dentro dos padrões de mercado, otimizar o uso de recursos, a seleção de reprodutores e o melhoramento genético (MARTINS, 2006).

Figura 3 - Efeito do tamanho à maturidade sobre a composição corporal em bovinos



Fonte: LUCCHIARI FILHO (2000).

2.3 Aplicação da modelagem estatística no estudo do crescimento animal

Para o estudo de crescimento animal existem duas metodologias para coleta de dados, que são os métodos transversal e longitudinal. No método longitudinal, os dados são tomados do mesmo grupo de indivíduos, desde o nascimento até a idade adulta (ZEFERINO et al., 2003), ou seja, as medidas são realizadas repetidamente no mesmo animal durante sua vida.

Este método é o mais utilizado nas pesquisas científicas com o crescimento animal. Já no método transversal, às curvas são construídas a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população, assim não há necessidade de ficar acompanhando os mesmos indivíduos ao longo do tempo. Este método é muito utilizado em pesquisas com humanos, devido a sua praticidade e baixo custo (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011).

Para se estudar crescimento é necessário considerar a relação existente entre duas variáveis quantitativas, afim de, encontrar uma relação que descreva o comportamento de uma variável, chamada de variável dependente, em função da outra, denominada variável independente (DRAPER; SMITH, 1998). Esta relação pode ser descrita por meio de funções matemáticas, as quais são denominadas modelos de regressão, sendo estes os modelos lineares, não lineares e os linearizáveis.

Dentre os modelos de regressão destaca-se o não linear como o mais indicado e aplicável na descrição das curvas de crescimento animal. Modelos estatísticos não lineares são aqueles em que pelo menos uma das derivadas parciais da função f em relação aos parâmetros depende de pelo menos um dos parâmetros do modelo, ou seja, pode-se dizer que um modelo é não linear quando ele é não linear nos parâmetros. (DRAPER; SMITH, 1998).

Os modelos não lineares vêm sendo amplamente utilizados na descrição das curvas de crescimento em diversas espécies animais, pois permite que as informações presentes em um conjunto de dados (por exemplo: pesos x idade) sejam resumidas em um pequeno número de parâmetros com interpretações práticas, facilitando o entendimento do fenômeno (OLIVEIRA et al., 2000; PAZ et al. 2004).

Deste modo a modelagem do crescimento utilizando equações não lineares resume os dados de crescimento para um indivíduo ou uma população. E assim, a curva resultante proporciona uma descrição visual do crescimento, e a interpretação fornece uma explicação do que está ocorrendo biologicamente (KSHIRSAGAR; SMITH, 1995).

Em pesquisas realizadas com curvas de crescimento animal, há uma grande preferência por modelos não lineares, sendo que os modelos mais utilizados são o de Gompertz, Logístico, Brody, Richards e Von Bertalanffy.

Vários autores observaram em suas pesquisas uma mudança repentina no padrão de crescimento animal, sugerindo que modelar este crescimento em duas partes talvez produza melhores resultados.

Estudos realizados na raça bovina Hereford, Mazzini et al. (2003; 2005) selecionaram o modelo não linear que melhor se ajusta ao crescimento de 160 bovinos machos utilizando as funções de Brody, Gompertz, Logística, Richards e Von Bertalanffy. Concluíram que as funções que apresentaram melhor ajuste foram as de von Bertalanffy e Gompertz, seguidas pela Logística. Souza et al. (2010) compararam o ajuste destes cinco modelos na descrição do crescimento de animais da raça Indubrasil do estado de Sergipe. Assim como, Carneiro et al. (2014) que avaliaram bovinos da raça Tabapuã criados em cinco regiões do Nordeste brasileiro utilizando modelos não lineares e demonstrando as diferença entre as curvas de crescimento dos animais.

2.4 Qualidade de carne

No Brasil a pecuária de corte é um dos aspectos mais importantes a ser melhorado. Considerado o maior exportador mundial de corte bovina, sua produção adequada aos padrões e exigências impostas pelos importadores. Para o melhoramento animal, a técnica de ultrassonografia de carcaça é de grande importância, por avaliar características relacionadas a qualidade da carne. (MEIRELLES et al., 2010).

Considerado um método não invasivo, o uso da ultrassonografia in vivo estima a quantidade de gordura e massa muscular depositadas ao longo da vida do animal. Rapidez e confiabilidade são pontos que atribuem a essa tecnologia alto grau de repetibilidade em suas mensurações na carcaça. Medidas de carcaças com o uso da ultrassonografia apresentam considerável acurácia em rendimento de carne e aceitável predição em termos de qualidade (PERKINS et al., 1992).

A ultrassonografia, por ser um método indireto, não destrutivo, permite a obtenção da composição da carcaça do mesmo animal repetidas vezes, sendo uma alternativa aos métodos tradicionais de medidas realizadas diretamente na carcaça, que embora apresentem boa

correlação com a composição da mesma, exigem o abate do animal, maior tempo e recursos financeiros (HEDRICK, 1983).

Segundo Luchiari Filho (2000) se um processo simples e eficiente for capaz de resultar na composição de carcaça desejável, então o custo de produção será mínimo, e qualquer desvio deste objetivo resultará em uma produção mais onerosa e ineficiente. Neste contexto o ultrassom é um desses processos, que prediz com acurácia a composição de carcaça e otimiza os custos de produção. Os ganhos obtidos com a adoção desta tecnologia podem possibilitar aos criadores a conquista de novos mercados de qualidade de carne e ganho em produtividade, com a possibilidade de incremento também no desempenho reprodutivo.

2.4.1 Área de Olho de Lombo

A área de olho de lombo corresponde a área de uma secção transversal do músculo *Longissimus* entre as 12^a e 13^a costelas, frequentemente utilizada como característica indicadora de musculosidade e de composição de carcaça, mas sua importância abrange ainda outros aspectos, é também um importante indicador do rendimento dos cortes de alto valor comercial (LUCHIARI FILHO, 2000).

Para aumentar a confiabilidade das estimativas do grau de musculosidade dos bovinos, a área de olho de lombo deve ser utilizada em associação a espessura de gordura subcutânea. Os animais que possuem maior área de olho de lombo, geralmente apresentam menor espessura de gordura subcutânea. (PRIVANTO et al., 1993).

2.4.2 Espessura de Gordura Subcutânea

Corresponde a espessura do depósito de gordura subcutânea entre as 12^a e 13^a costelas. Segundo Faria (2012) essa característica está relacionada ao grau de acabamento da carcaça, o qual determina a qualidade da carne por proteger a carcaça durante o resfriamento.

Uma vez relacionada ao acabamento, através da identificação da deposição precoce dessa gordura é possível selecionar animais com maior precocidade de acabamento e também precoces

reprodutivamente. Esses animais apresentam, em sua maioria, menores pesos à maturidade e ao abate, e conseqüentemente estão aptos à reprodução em idade mais jovem.

Em termos produtivos, animais com excesso de gordura subcutânea não são economicamente interessantes devido ao alto custo para deposição da mesma em sistemas de confinamento. Exceção é feita quando o objetivo é atender a nichos de mercado que pagam altos valores pelo quilograma de carne com alta espessura de gordura, o que confere maior maciez e palatabilidade. Em resumo, o conhecimento do potencial genético do rebanho, direcionado a um objetivo de produção pode promover maior lucratividade ao produtor de gado de corte (MATOS et al., 2011).

2.4.3 Gordura na garupa

A espessura de gordura sobre o músculo *Biceps femoris* (Figura 3) é também um indicador adicional de deposição de gordura e suas propriedades são semelhantes às da gordura medida entre a 12ª e 13ª costelas. Essa medida também pode ser utilizada como um indicador da uniformidade de distribuição da gordura na carcaça, uma vez que alguns animais não apresentam distribuição uniforme.

Tal mensuração permite ainda identificar diferenças quanto à deposição de gordura em animais jovens e com menor acabamento, uma vez que o processo de deposição de gordura inicia-se pelas extremidades, ocorrendo primeiramente no traseiro e dianteiro, avançando em direção à coluna vertebral, seguida da porção inferior das costelas (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

A deposição de gordura subcutânea na garupa situa-se na garupa entre o ileo e o isqueo, e é uma medida avaliada na posição longitudinal (FARIA, 2012).

2.4.4 Gordura intramuscular

A gordura intramuscular também denominada de gordura de marmoreio é caracterizada por flocos (pontos) de gordura visíveis no músculo *Longissimus* (contra-filé) e apresenta associação positiva com a palatabilidade e suculência (FARIA, 2012).

Existe grande variação quanto à idade de desenvolvimento da marmorização, variações genéticas, nutricionais, de raça e sexo influenciam essa deposição, entretanto

estima-se que a hiperplasia no depósito de gordura intramuscular tem início entre os 11 e 15 meses de idade, caracterizando o marmoreio como depósito de gordura tardio. (CIANZIO et al., 1985).

A porcentagem de gordura intramuscular em bovinos pode ser estimada por ultrassonografia no animal vivo e também visualizado na carcaça (Figura 4), no primeiro caso os depósitos de gordura dispersam as ondas ultrassônicas, aparecendo na imagem como regiões brilhantes contrastando com o fundo preto do músculo *Longissimus* (HARPER; PETHICK, 2004).

A avaliação da gordura intramuscular por ultrassom é resultado da média de até cinco imagens coletadas do músculo *Longissimus* e obtida por meio da análise de contraste da imagem. A ultrassonografia oferece dados relevantes na predição da gordura intramuscular, tanto em bezerros, como em animais em confinamento. Além de ser uma ferramenta na avaliação de reprodutores, identificando o potencial genético para marmoreio (HERRING, 2006).

Pelo fato da gordura intramuscular se concentrar em torno da rede de capilares, qualquer mudança nessa rede modifica o grau de dispersão das ondas ultrassônicas. Entretanto a precisão da avaliação da gordura intramuscular é maior no animal vivo comparado à medição na carcaça devido à perda do volume dos capilares sanguíneos depois da sangria (GOMIDE et al., 2009).

Sabe-se que a diferenciação celular segue um programa de desenvolvimento, segundo a determinação genética, ou se dá em resposta a estímulos ambientais. Assim a taxa e a quantidade de gordura depositada são influenciadas pelo plano nutricional, maturidade, raça e sexo do animal (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

2.5 Características de crescimento

A determinação do peso corporal dos animais é importante para avaliar o crescimento e o estado nutricional, administrar adequadamente remédios e parasiticidas, estabelecer o valor de venda do animal de corte.

Os pesos padrão, mensurados em diferentes idades do animal, são de fácil obtenção e demonstram o valor econômico dos animais, sendo por isto são considerados em programas de melhoramento genético (BALDI et al., 2010).

O peso ao sobreano é uma característica que recebe maior atenção por parte dos produtores de bovinos de corte, pois está diretamente relacionada ao peso de abate dos animais e reflete o potencial de ganho de peso do animal após o desmame.

2.6 Parâmetros genéticos

Os parâmetros genéticos são de grande importância por constituírem as ferramentas utilizadas para o delineamento dos programas de melhoramento genético animal, pois com sua estimação é possível prever respostas diretas e correlacionadas à seleção, permitindo obter informações sobre a natureza da ação dos genes envolvidos na herança das características e estabelecer a base para a escolha do método de melhoramento mais adequado para a população em interesse (FARIA et al., 2007).

Dentre os principais parâmetros genéticos, pode-se evidenciar a herdabilidade e a correlação genética. A herdabilidade é o parâmetro genético de maior importância para a determinação das estratégias a serem usadas no melhoramento de um caráter, pois demonstra a capacidade de transmissão dessa característica à sua progênie (FALCONER, 1996).

A herdabilidade é definida como um coeficiente genético, que expressa a proporção entre a variância genética e a variância fenotípica, ou seja, mede a proporção das diferenças entre animais que é transmissível à descendência. Assim, mede o grau da relação entre o valor genético e o fenótipo do animal, que corresponde à proporção existente entre as influências genéticas e ambientais na expressão fenotípica das características, mostrando o nível de facilidade ou dificuldade para melhorar certos caracteres (CRUZ, 2005).

Estudos realizados por Reverter et al. (2000) com a raça Angus e Hereford; Kemp et al. (2002), Wilson et al. (1993) com a raça Angus; Figueiredo et al. (2001) e Yokoo et al. (2008) em bovinos Nelore, apontam estimativas de herdabilidade variando de $h^2 = 0,24$ a $0,41$ para área de olho de lombo, $h^2 = 0,09$ a $0,52$ para espessura de gordura subcutânea, $h^2 = 0,25$ a

0,40 para espessura de gordura na garupa, $h^2 = 0,18$ a $0,51$ para gordura intramuscular e $h^2 = 0,23$ a $0,55$ para peso (Tabela 1).

Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade para características de carcaça e peso, segundo alguns autores

Fonte	Raça	Idade (dias)	Herdabilidade				
			Peso	AOL	EGS	EGP8	PGI
Wilson et al. (1993)	Angus	527	-	0,32	0,26	-	0,26
Reverter et al. (2000)	Angus	391	-	0,37	0,47	0,51	0,18
	Hereford	391	-	0,24	0,09	0,25	0,28
Figueiredo et al. (2001)	Nelore	510	-	0,41	0,19	-	-
Yokoo et al. (2008)	Nelore	550	-	0,35	0,52	0,40	-
Keemp et al. (2002)	Angus	462	0,55	0,29	0,30	-	0,51
Lima Neto et al. (2009)	Guzerá	540	0,41	0,34	0,10	0,32	-
MacNeil et al. (2010)	Angus	550	-	-	-	-	0,31
Meirelles et al. (2010)	Canchim	540	0,23	0,33	0,24	-	-

AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = espessura de gordura na garupa e PGI = percentagem de gordura intramuscular.

A correlação genética é a medida do grau da associação entre duas variáveis, ou o grau de variação conjunta das duas variáveis em análise, podendo ser positiva ou negativa, ou seja, quando ocorre acréscimo nas duas variáveis ou aumento de uma e diminuição de outra, respectivamente. Se ela for de alta magnitude, a alteração em um caráter promove alterações significativas em outros correlacionados a ele (STEEL et al., 1997). Ela explora os conceitos de pleiotropia, ou seja, deve-se ao fato de que duas características distintas podem ser determinadas pelos mesmos genes, bem como a de ligação gênica, que explica a ação de genes localizados no mesmo cromossomo que dificilmente são segregados (FALCONER, 1996).

Tabela 2 - Estimativas de correlações genéticas para características de carcaça e peso, segundo alguns autores

Fonte	Raça	Correlações							
		Peso e Aol	Peso e EGS	AOL e EGS	AOL e EGP8	AOL e PGI	EGS e EGP8	EGS e PGI	EGP8 e PGI
Wilson et al. (1993)	Angus	-	-	-0,06	-	-0,04	-	-0,13	-
Reverter et al.(2000)	Angus	-	-	-0,04	-0,07	-0,35	0,94	0,57	0,41
Keemp et al. (2002)	Angus	0,71	0,33	0,23	-	0,16	-	0,38	-
Yokoo et al. (2008)	Nelore	-	-	0,06	-0,04	-	0,74	-	-
Lima Neto et al. (2009)	Guzerá	0,79	-	0,05	0,02	-	0,64	-	-
Meirelles et al.(2010)	Canchim	0,62	0,57	0,21	-	-	-	-	-

AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = espessura de gordura na garupa e PGI = percentagem de gordura intramuscular.

As estimativas de correlação genética entre as características variam muito (Tabela 2). Na literatura foram encontradas correlações baixas, sugerindo que os genes de ação aditiva que influenciam uma característica não influenciam a outra. Já as correlações genéticas positivas e de magnitude média e alta sugere que a seleção para uma característica deve resultar em mudanças na outra na mesma direção.

REFERÊNCIAS

- ABA, 2018. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ANGUS**. Disponível em: <http://www.angus.org.br/>. Acesso em: 10 de set de 2018.
- ASBIA, 2017. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL**. Disponível em: <http://www.asbia.org.br/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.
- ARBOITTE, M. Z. **Biótipos de novilhos super jovens aberdeen angus abatidos com mesmo grau de acabamento na carcaça**. 2010. 184 p. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BALDI, F. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento em bovinos da raça Canchim utilizando modelos de dimensão finita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p 2409–2417, 2010.
- BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth cattle growth**. Sydney: University Press, p. 240, 1976.
- BRIDI, A. M. **Crescimento e desenvolvimento do tecido muscular**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.]. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Carnesecarcacasarquivos/Crescimentoeodesenvolvimentomuscular.pdf>. Acesso em: 28 de agosto de 2018.
- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 57-62, 2014.
- CIANZIO, D. S. et al. Adipose tissue growth and cellularity: changes in bovine adipocyte size and number. **Journal of Animal Science**, v. 60, n. 4, p. 970–6, abr. 1985.
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005, 394p.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3 ed. [S.l.]: Wiley-Interscience, 1998.
- FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. New York: Longman Scientific e Technical, 1996. 464 p.
- FARIA, M. H. A ultrassonografia como critério de abate em bovinos de corte. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n.1, jan-jun, 2012.

FARIA, C. U. et al. Inferência bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça nelore: revisão bibliográfica. **Ciência Animal Brasileira, Goiânia**, v. 8, n. 1, p.75-86, 2007.

FIGUEIREDO, L. G. G. **Estimativas de parâmetros genéticos de características de carcaças feitas por ultrasonografia em bovinos da raça Nelore**. 2001. 67 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.

FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p.786-795, 2005.

GOMIDE, L. A. M. et al. **Tecnologia de abate e tipificação de carcaças**. Viçosa: UFV, 2009. 370 p.

HARPER, G. S.; PETHICK, D. W. How might marbling begin? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 653, 2004.

HEDRICK, H. Methods of Estimating Live Animal and Carcass Composition. **Journal of Animal Science**, v. 56, p. 1316–1327, 1983.

HERRING, A. D. **Genetic aspects of marbling in beef carcasses**. Department of Animal Science. Texas A&M University. 2006. Disponível em: <http://www.cabpartners.com/articles/news/222/CAB-Review-of-Marbling.pdf>. Acesso em: nov de 2018.

KEMP, D. J. et al. Genetic and environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 1489-1496, 2002.

KSHIRSAGAR, A. M.; SMITH, W. B. **Growth curves**. New York: Marcel Dekker, 1995.

LAWRENCE, T. L. J; FLOWLER, V. R. **Growth of farms animals**. New York: CABI Publishing 2002.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. 1. ed. 2000. São Paulo. 134p.

MANELLA, M. Q.; BOIN, C. Composição química da gordura e seus efeitos na saúde humana. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/radarestecnicos>. Acesso em: 4 fev. 2003.

MARTINS, C. E. N. **Forma e função em vacas Braford: o exterior como indicativo de desempenho e temperamento**. 2006. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2006.

- MATOS, B. C. et al. **Ultrassonografia na avaliação de carcaça de animais de produção** – Conceitos básicos. Presidente Prudente, 2011. Apostila do 1º Curso de Capacitação Técnica em Ultrassonografia de carcaça – Designer Genes Technologies Brasil, 2011.
- MAZZINI, A. R. A. et al. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 5, p. 1105-1112, 2003.
- MAZZINI, A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.
- MCGUIRE, D. Beef Cattle Library. n. April, p. 1- 4, 2013.
- MEIRELLES, S. L. et al. Environmental effects and genetic parameters estimates for carcass traits in Canchim cattle raised on pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1437-1442, 2010.
- MENDES, P. N. et al. Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas Hereford por meio da função não linear de Gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 2, p. 454-461, 2009.
- OLIVEIRA, H. N. et al. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça GUZERÁ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 35, n.9, 2000.
- OWENS, F. N. et al. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, p. 3138-3150, 1993.
- PAZ, C. C. P. et al. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovino de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1416-1425, 2004.
- PEKINS, T. L. et al. Ultrasonic prediction of carcass merit in beef cattle: Evaluation of thenician effects on ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area. **Journal of Animal Science**. v. 70, p. 2758-2765, 1992
- PRIVANTO, R. et al. Prediction of carcass composition in heavy-weight grass-fed beef cattle. **Animal Production**. v. 57, n. 1, p. 65-72, 1993.
- REVERTER, A. et al. Genetic analyses of live-animal ultrasound and abattoir carcass traits in Australian Angus and Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 7, p. 1786–95, jul. 2000.
- SANTANA, T. J. S. et al. Ajuste de modelos platô de resposta em dados de crescimento de bovinos da raça nelore do estado de São Paulo. In: 57º Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 57, 2012. **Anais...** São Paulo, p. 1-5, 2012.

SILVA, D. A. S. et al. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010.

SOUZA, F. A. C., et al. Nonlinear modeling growth body weight of Mangalarga Marchador horses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 4, 2017.

SOUZA, L. A. et al. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p. 671-676, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000400022>.

SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 565-574, 2011.

STEEL, R. G. D. et al. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3 ed. **New York: McGraw-Hill Book Company**, p. 666, 1997.

WILSON, D. E. et al. Genetic parameters for carcass traits estimated from Angus field records. **Journal of Animal Science**, v. 71, p. 2365–2370, 1993.

YOKOO, M. J. et al. Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 117, n. 2-3, p. 147–154, set. 2008.

ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 79, n. 1, p. 23-32, 2003.

CAPÍTULO I: GROWTH CURVE MODELING IN ANGUS CATTLE

ABSTRACT

The study of animal growth curves through non-linear models has been used as a method for analyzing the development of diverse species. In cattle, these studies have been conducted up to now with the use of longitudinal data. However, obtaining longitudinal data to describe bovine growth requires a great deal of time since the same animal must be followed from birth to the age of adult. This is not necessary in obtaining transversal data. The aims of this study were to evaluate fitting non-linear models to transversal data of live weight of Angus cattle in order to select the best model. We used 1792 measurements of live weight from 203 males of Angus cattle with age ranging from birth to 46 months. The parameters of the models were estimated by the least squares method, using the Gauss-Newton algorithm based on the R software routine. The models were compared regarding goodness of fit by the following criteria: coefficient of determination, residual standard deviation, and Akaike information criterion. The adult weight estimated by the models ranged from 588 kg to 627 kg. The parameters of adult weight and maturity index were in opposition, indicating that selection for higher precocity may lead to animals with lower weight. There was greater intensity of growth up to approximately five months of age, and from 36 months on, the growth curve tends to stabilize. The goodness-of-fit criteria indicated that the von Bertalanffy model is most adequate to describe the Angus cattle growth curve. The models exhibited excellent goodness of fit ($R^2 > 98\%$) thus, the transversal method of obtaining data can be applied in the study of growth curves in cattle, reducing the time for constructing the growth curve of the animals.

Keywords: Age. Transversal Method. Models. Live Weight.

1 INTRODUCTION

The Aberdeen Angus breed has stood out in Brazilian cattle raising because it is among the taurine breeds with the most desirable traits for the beef production sector, such as early maturity, rusticity, ease of parturition, and, above all, meat quality. It is also highly valued in foreign trade (MCGUIRE, 2013).

According to the Brazilian Angus Association, the breed showed a sharp increase in the last six years, and represented 51% of the semen sold in Brazil, mainly for its use in crossbreeding as, for example, with the Zebu breeds Nellore and Brahman (ABA, 2018).

Studies related to growth curves have strategic application in animal breeding programs because they assist in defining selection criteria in relation to finishing precocity and to rate of weight gain, as well as assisting in definition of production systems that are more efficient for each breed and region in regard to animal management, feeding programs, and definition of crosses (SOUZA et al., 2010; SILVA et al., 2011).

Weight measurements of animals over time have a distribution very similar to sigmoid curves, and these measurements can be described by diverse models that consider the non-linear relation between the weight and age of the animals. Thereby, for the study of the biological growth of different species or breeds, non-linear models are more adequate for explaining the growth process (RATKOWSKY, 1990). They are able to summarize the information contained in the data, allowing biological interpretation of the process, which facilitates the study of adult animal weight, growth rate, and critical points of change in growth rate, as well as practical application in management of rural properties (SOUZA et al., 2010; SILVA et al., 2011).

There are two main forms of data collection for constructing animal growth curves: the transversal and the longitudinal method. The transversal method is more used in pediatric studies so as to better understand human growth. It is less costly, quicker, and more practical (SILVA et al., 2010, SPERANDIO et al., 2011). In the transversal method, the curves are obtained from measurements taken a single time in individuals of different ages. One of the first studies using this method in animals was conducted in horses by Souza et al. (2017), confirming its efficiency and practicality. In the longitudinal method, data are taken from the

same animals, from birth to adulthood. This method is more used in animal growth studies; however, it requires a long period of data collection (ZEFERINO et al., 2003).

In addition, in studies with repeated measurements of the same animal, error dependence naturally occurs, affecting the properties of the estimates and requiring adoption of autoregressive models that are usually more complex (MAZZINI et al., 2005). Alternatively, this situation can be resolved by using transversal data to obtain estimates of the parameters of the non-linear models.

In spite of the importance of practical application of growth curves in decision making on cattle farms, there is no report in the literature regarding studies on modeling with transversal data of the growth curve in Angus animals, indicating the novelty of this study.

The aims of this study were to assess the fit of Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy, and Richards models to transversal data of live weight of a population of Angus cattle for the purpose of selecting the best model.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Data

The experimental data were obtained from the Santa Éster Farm of the Casa Branca Agropastoril Ltda., located in Silvianópolis, Minas Gerais, Brazil, from the year 2013 to 2017. A total of 1792 measurements of live weight were used from 203 males of the Angus breed from birth to 46.5 months of age.

The transversal data collection method was used, making measurements a single time in animals of different ages over their period of development, thus characterizing a sampling of the population of males of this breed. The animals were grouped in nine age classes (AC): AC one: weight at birth, AC two: one to five months, AC three: six to ten months, AC four: eleven to fifteen months, AC five: sixteen to twenty months, AC six: twenty-one to twenty-five months, AC seven: twenty-six to thirty months, AC eight: thirty-one to thirty-five months, and AC nine: over thirty-six months.

2.2 Fitting the curve

For description of the bovine growth curve, the non-linear models most cited in the literature were used: Brody ($y_i = a(1 - \exp\{-k*(t_i-b)\}) + \varepsilon_i$); Gompertz ($y_i = a*\exp\{-\exp(-k*[t_i - b])\} + \varepsilon_i$); Logistic ($y_i = a / \{1 + \exp(-k*[t_i-b])\} + \varepsilon_i$); von Bertalanffy ($y_i = a(1 - \exp\{-k*(t_i-b)\})^3 + \varepsilon_i$); and Richards ($y_i = a(1 - \exp\{-k*(t_i-b)\})^m + \varepsilon_i$); where “ y_i ” is the live weight of the animal; “ t_i ” is the age of the animal; “ a ” is the asymptotic value, or adult weight of the animal; “ b ” is associated with the inflection point of the model; “ k ” is the precocity of maturity index of the model, and the higher the k value, the less time will be necessary for the animal to reach its adult weight (a); and “ ε ” is the random error associated with the model, which is assumed to be independent and identically distributed according to a normal of zero mean and constant variance, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ (FERNANDES, 2014).

Naturally, weight variability within the AC increases over time; thus, the variance among the animals within the same age class was calculated so as to incorporate this variability in estimation of the parameters by means of weighting by the inverse of the variance.

The parameters of these models were estimated by the least squares method, according to Draper and Smith (1998), through which is obtained the Normal Equations System (NES), using the Gauss-Newton algorithm, based on the R software routine (R Development Core Team, 2015). The parameters were estimated by the nls function by the generalized least squares method of the nlme package described by Pinheiro and Bates (2000). The Shapiro-Wilk test was used to check the assumption of residual normality of the model.

Comparison and selection of the most adequate model to describe the growth curve were performed based on the following goodness-of-fit criteria: residual standard deviation (RSD), calculated by the expression $RSD = \sqrt{MSE}$, where MSE is the mean square error. The lower RSD is, the better the fit of the model. The coefficient of determination (R^2) was obtained by: $R^2 = 1 - \frac{RSS}{TotalSS}$, where RSS is the residual sum of squares, and TotalSS is the total sum of squares. The coefficient of determination ranges from 0 to 1, and the model whose R^2 is nearer to 1 has the best fit. The Akaike information criterion (AIC) was

calculated through the expression $AIC = -2 \log L(\Theta) + 2(p)$, where p is the number of parameters of the model, and $L(\Theta)$ is the natural logarithm of the maximum point of the likelihood function. The lower the AIC value, the better the fit provided by the model.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The mean weights of the animals, their variances at each age, and the weighting factor are shown in Table 1. As age increased, there was an increase in the variances of body weight, thus explaining the weighting used. These results are in agreement with those found in the literature, which confirmed that variances in body weights increase over time (OLIVEIRA et al., 2000; MAZZINI et al., 2005; FERNANDES et al., 2014).

Table 1 - Age class (class), average age within the class (age), number of weight measurements per class (N data), mean weight (weight) observed, respective variances over time, and the inverse of these variances (weighting factor)

Class	Age (months)	N data	Weight (kg)	Variance (kg)	Weighting factor ($\text{kg}^{-2} \times 10^{-4}$)
1	0	232	34.37	149.47	66.9031
2	3	571	115.65	2336.42	4.2801
3	8	462	238.74	3673.22	2.7224
4	13	276	336.32	7626.24	1.3113
5	18	167	423.04	11833.65	0.8450
6	23	46	537.94	32384.44	0.3088
7	28	22	585.72	45828.59	0.2182
8	33	8	597.00	57194.29	0.1748
9	38	8	599.50	2596.86	3.8508

Source: Author (2019).

The assumption of residual normality was checked by the Shapiro-Wilk test for all the models (Table 2). The Brody function did not obtain data normality in observation based on the p -value ($P < 0.01$). This deviation from the assumption eliminated this model from analyses. This situation can be explained by the sigmoidal nature of the bovine growth curve.

The Brody model does not have an inflection point and, therefore, it is not highly recommended for describing this type of growth.

In the present study, an attempt was made to fit the Richards model, but there was not convergence of the algorithms of estimation of parameters, and, thus, it could not be used. Various authors have indicated the difficulty of convergence in the Richards function (TEIXEIRA et al., 2012; SOUZA et al., 2017).

The goodness-of-fit indicators showed that the Logistic, Gompertz, and von Bertalanffy models adequately described the weighted development of these animals, with coefficient of determination values higher than 98%, with a slight advantage for the von Bertalanffy model, which also obtained lower values of RSD and AIC (Table 2).

Table 2 - P-value of the Shapiro-Wilk (SW) test, coefficient of determination (R^2), residual standard deviation (RSD), and Akaike information criterion (AIC) in assessment of the fit of growth models of live weight for males of the Angus breed.

Model	SW	R^2	AIC	RSD
Gompertz	0.1800	0.9962	657.8588	0.3145
Logistic	0.6020	0.9867	672.1361	0.5813
von Bertalanffy	0.7697	0.9982	647.2007	0.2159

Source: Author (2019).

It can also be observed that the predicted weights estimated by the von Bertalanffy model were closer to the observed weights, indicating a greater association in this model (Figure 1).

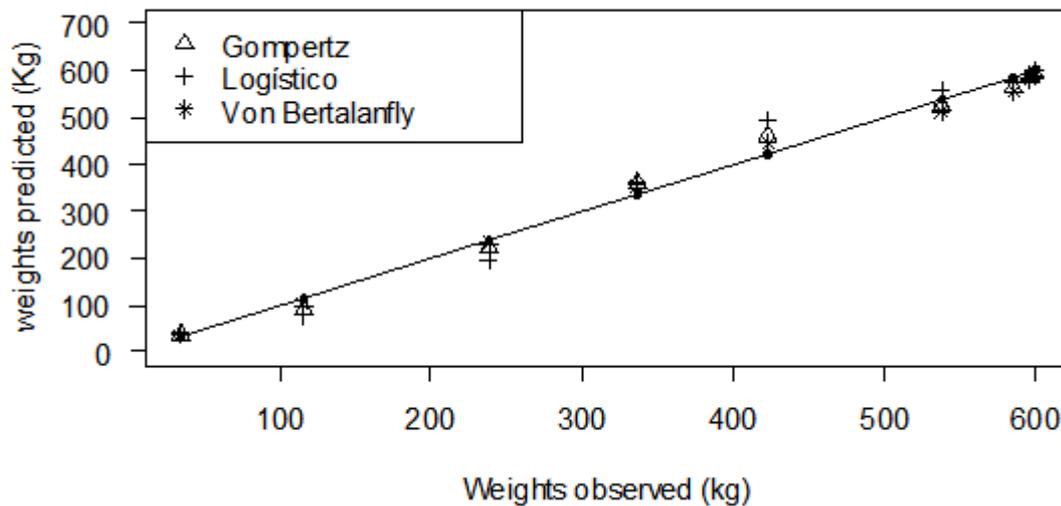


Figure 1 - Weights predicted by the Gompertz, Logistic, and von Bertalanffy models according to weights observed for males of the Angus breed

Source: Author (2019).

Similar to the results obtained in the present study, Mazzini et al. (2005), in a study conducted in the Hereford breed, also concluded that the models that showed the best fit were those of von Bertalanffy and Gompertz, followed by the Logistic model. The von Bertalanffy model was also considered most recommended for describing the growth curves of cows from different genetic groups (SILVA, 2011).

Unlike the present study, Goldberg and Ravagnolo (2015) evaluated the fit of the Brody, Gompertz, von Bertalanffy, Logistic, and Richards models and found that the Richards model was the one that best fit the growth curves of Angus cows based on selection criteria. The Richards model provided the best weight predictions from birth to maturity compared to the other four models, because those models overestimated or underestimated the weights at different ages in this dataset of female bovines.

This difference in recommendation of the model most suitable for describing the growth curve of the Angus breed in different sexes can be explained by sexual dimorphism, since males have secondary sexual traits that affect the growth of body regions and directly affect body weight (SOUZA et al., 2017).

Various studies regarding growth curves have been carried out in cattle, both taurine and zebu, and the results confirm that although various models are adequate, there are divergences among them, as can be observed in Teleken et al. (2017). Such divergences can even occur in animals of the same breed analyzed in different regions, as observed by Carneiro et al. (2014), and show that even though growth in a breed is determined genetically, actual growth depends on environmental factors, which, combined with genetic factors, will result in distinct growth patterns.

Estimates are presented for the following parameters with their respective confidence intervals: adult weight (a), maturity index (k), and abscissa of the inflection point (b), arising from fitting data in the various models (Table 3).

Table 3 - Estimated parameters and lower and upper limits of the confidence intervals for the three models in description of the growth curve of live weight of males of the Angus breed

Model	Parameter								
	LL	a	UL	LL	K	UL	LL	b	UL
Gompertz	566.23	608.90	655.89	0.107	0.128	0.153	6.738	8.015	9.595
Logistic	519.15	588.46	660.32	0.177	0.238	0.324	8.288	10.937	14.262
von Bertalanffy	592.83	627.20	666.12	0.085	0.098	0.112	4.219	4.978	5.861

a = is the asymptotic value, or maturity weight of the animal (kg); b = is the abscissa of the inflection point of the model (months); k = is the maturity index and precocity of the model; LL = lower limit of the confidence interval; UL = upper limit of the confidence interval.

Source: Author (2019).

The estimates of adult weight obtained by the models studied ranged from 588.46 kg to 627.20 kg. It should be noted that the a parameter represents adult weight, which is not necessarily the maximum weight reached by the animals, but rather the mean weight at maturity.

Minish and Fox (1982) consider that uncastrated males of small body size (Angus, Gir, and Red Angus) reach adult weight at 510 kg. The authors consider that stabilization of growth occurs when the muscle deposition rate is low or near zero and the body fat percentage represents 28.8% of body composition.

Nevertheless, maturity is variable (within and among breeds, regarding weight, age, and especially sex); it may be earlier or later. In general, females mature earlier, followed by castrated males; non-castrated males are the last to mature.

Average adult weight was 599.5 kg (Table 1). In the Logistic model, adult weight was underestimated in relation to the mean weight observed at the respective age; and in the Gompertz and von Bertalanffy models, adult weight was overestimated. The Gompertz model most drew near the mean weight observed, with an estimate of 608.90 kg.

The estimates of the a parameter obtained in the present study were compared with the results found by Goldberg and Ravagnolo (2015), who studied Angus cows raised in an extensive pasture system in Uruguay. Those authors found lower values of a for the Brody (464.9), von Bertalanffy (448.9), Gompertz (444.7), Logistic (437.1), and Richards (541.6) models, observing the difference of the growth pattern between males and females. This corroborates Souza et al. (2017), who affirmed that there is a difference in growth pattern according to sex, in which males tend to have greater weight than females.

The average adult weight estimated was higher than the values reported by Stewart and Martin (1981) for Angus cows (485 ± 5 kg) and by Stewart and Martin (1983) for Angus (421 ± 8 kg), Shorthorn (409 ± 10 kg), and Angus \times Shorthorn cross (444 ± 7 kg) cows. The effect of sex must be taken into account in comparing growth curves to quantify this difference and also to adjust the statistical models used so that comparisons can be made free from this effect (CARNEIRO et al., 2014).

The maturity index represented by the k parameter of the growth curves indicates the precocity of maturity of the animals. The estimate of k in von Bertalanffy model in the present study (0.098) was greater than the estimates found by Souza (2010) for animals of the Indubrasil breed (0.0033). Santoro et al. (2005) arrived at a similar estimate for zebu animals of the breeds Guzará, Nellore, and Nellore Mocho, which also exhibited a lower value compared to the k value in the present study. Studies by Goldberg and Ravagnolo (2015) for the Angus breed (0.0025), by Stewart and Martin (1981) for cows of the Angus (0.058) and Shorthorn (0.066) breeds, and by Marshall et al. (1984) for Red Poll (0,059) cows indicated that Angus animals have earlier maturity, i.e., they achieve adult weight in a shorter time.

The a parameter and k parameter were in opposition, indicating that greater adult weight had a lower maturity index, which suggests that selection for higher precocity can lead to animals with lower adult weight. In general, the correlation between a and k in beef cattle is negative, results obtained by various authors (FREITAS, 2005, SOUZA et al., 2010, LOPES et al., 2011).

Silva et al. (2000) obtained estimates of -0.75 (phenotypic correlation) and -0.74 (genetic correlation) between the a and k parameters of the growth curve of females of the Canchim breed. The implication of this result is that heavier animals have a slower maturity index and, for that reason, take a longer time to achieve and stabilize adult weight. This is explained by the relationship that exists between weight and body size of the animals because animals with greater body measurements have greater weight, and vice versa. Consequently, individuals with greater adult body weight have greater nutritional maintenance requirements and are later in maturing. They thus exhibited a lower growth rate (LOPES et al., 2016).

The b parameter is associated with the inflection point of the model, i.e., it represents the point at which the growth curve of the animal passes from auto-acceleration to deceleration of growth. In the present study, the estimate of this parameter for the von Bertalanffy model, which exhibited better goodness of fit, was approximately five months (Table 4). Thus, at this age, the maturity index began to decrease due to a series of factors that progressively inhibit growth, although the animal does not stop growing.

A characteristic of the von Bertalanffy model is that the inflection point (b) is fixed at approximately 30% of the asymptotic value. That suggests that growth in Angus cattle is not symmetric in relation to the inflection point, i.e., the inflection point occurred before the animal reached half of its asymptotic weight, as can also be observed in Figure 2.

There was greater and more homogeneous growth in animals up to five months of age, indicating that, under adequate environmental conditions, a sigmoid type curve is described, with acceleration in its rate up to the time of puberty, which then diminishes gradually until maturity.

From 36 months of age on, the growth curve tends to stabilize, suggesting that animals grow in body weight up to around this age. This growth pattern was different from that

observed by Morrow et al. (1978), who showed that weight stability was obtained only after 54 months of age, in evaluation of Angus animals.

Likewise, Morrow et al. (1978) and Beltran et al. (1992) found that weight remained constant after 54 months of age. These data indicate that animals under 54 months of age are unlikely to have satisfactory convergence in non-linear models for growth because they did not yet achieve adult weight.

Evaluation of the growth curves estimated through the model with the best fit showed that from birth to 8 months of age, the model provide good fit to the data. From 18 to 33 months of age, the weights predicted in relation to those observed exhibited a small difference. From 36 months of age on, there do not seem to be large differences between predicted and observed weights.

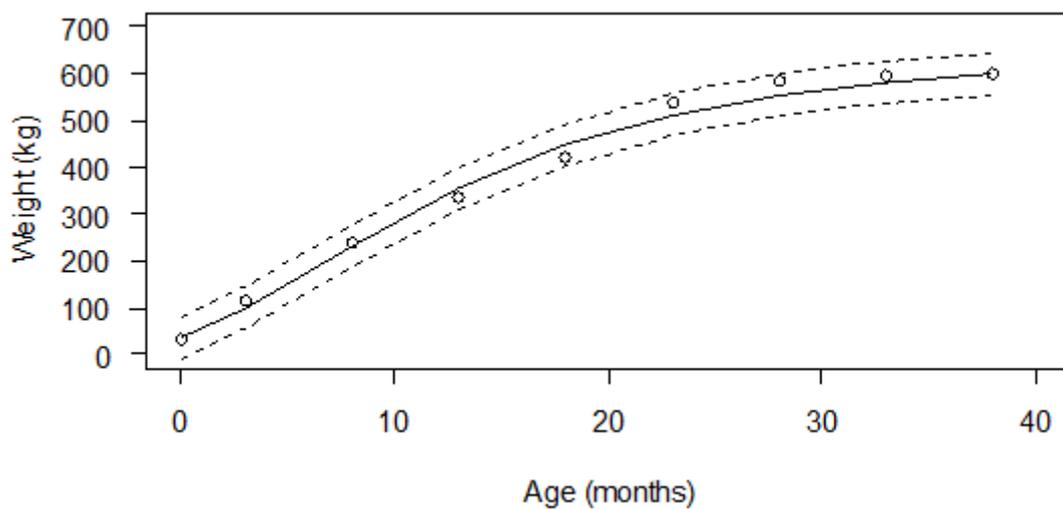


Figure 2 - Representation of the growth curve in live weight, with respective confidence interval, of the non-linear von Bertalanffy model for males of the Angus breed.

Source: Author (2019).

The lower and upper limits of the confidence intervals (95%) of each parameter estimate are shown in Table 4. Knowing the confidence interval provides the breeder with one more tool for selection of animals because it identifies what weight interval the animals

should have at a determined age of interest. Comparison was made directly, checking if the weight observed is within the limits of the confidence interval.

Table 4 - Mean of age per class, weights observed and those predicted by the von Bertalanffy model, and the lower and upper limits of the confidence interval according to the age of males of the Angus breed

Mean age (months)	Weight (kg)	Model (kg)		
		Lower Limit	von Bertalanffy	Upper limit
Birth	34.37	-8.83	35.72	80.25
3	115.65	54.68	99.24	143.76
8	238.74	187.71	232.27	276.79
13	336.32	310.11	354.67	399.19
18	423.04	403.21	447.77	492.29
23	537.94	467.73	512.29	556.81
28	585.72	510.26	554.82	599.34
33	597	537.51	582.06	626.59
38	599.5	554.67	599.22	643.75

Source: Author (2019).

Knowledge of the growth curve is of great economic importance because it will allow identification of adult weight and the rate at which the animal reaches this target, and afterwards to compare or predict the performance of animals (VENOT et al., 2004). In addition, it will lead to better quantification of maintenance energy needs for use in cattle production and also for development of cattle raising objectives.

4 CONCLUSION

According to the goodness-of-fit evaluators, the non-linear von Bertalanffy model is most adequate for describing the growth curve in weight of the studied population male Angus breed cattle.

REFERENCES

- ABA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ANGUS. Disponível em: <<http://www.angus.org.br/>>. Acessado em: 2 maio de 2018.
- BELTRAN, J. J. et al. Growth patterns of two lines of angus cattle selected using predicted growth parameters. **Journal Animal Science**, v. 70, p. 734-741, 1992.
- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 57-62, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000100008.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1998.
- FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000300010>.
- FERNANDES, T. J. et al. Seleção de modelos não-lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p. 207-215, 2014.
- GOLDBERG, V.; RAVAGNOLO, O. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 9, p. 4285-4290, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9208>.
- LOPES, F. B. et al. Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia** (Internet), v. 65, p. 123-129, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21071/az.v65i250.478>.
- LOPES, F. B. et al. Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v. 12, p. 607-617, 2011.
- MARSHALL, T. E. et al. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. **Animal Production**, v. 39, p. 383-387, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100032104>.
- MAZZINI, A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.
- MCGUIRE, D. Common Beef Breeds of Oregon. **Beef Cattle Library**. n. April, p. 1-4, 2013.
- MINISH, G. L.; FOX, D. G. **Beef production and management**, 2nd ed. Reston, VA: Reston Publishing Company, 1982. 470p.

MORROW, R. E. et al. Effects of age on estimates of bovine growth-curve parameters. **Journal Animal Science**, v. 47, p. 352-357, 1978. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1978.472352x>.

OLIVEIRA, H. N. et al. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000900017>.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-Effects Models in S and S-Plus**. New York: Springer-Verlag, 2000. 528 p.

RATKOWSKY, D.A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York: Marcel Dekker, p. 241, 1990.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

SANTORO, K. R. et al. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos zebu, criados no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 06, p. 2262-2279, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000700013>

SILVA, A. M. et al. Herdabilidades e correlações genéticas para peso e perímetro escrotal de machos e características reprodutivas e de crescimento de fêmeas, na raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 2223-2230, 2000.

SILVA, D. A. S.; PELEGRINI, A.; PETROSKI, E. L.; GAYA, A. C. A. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010. DOI: <https://doi.org/doi:10.2223/JPED.1975>.

SILVA, F. L. et al. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 262-271, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300006>.

SOUZA, L. A. et al. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 671-676, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000400022>.

SOUZA, F. A. C. et al. Nonlinear modeling growth body weight of Mangalarga Marchador horses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160636>.

SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 565-574, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-52732011000400005>.

STEWART, T. S.; MARTIN, T. G. Optimal mature size of Angus cows for maximum cow productivity. **Animal Production**, v. 37, p. 179-182, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100001707>.

STEWART, T. S.; MARTIN, T. G. Mature weight, maturation rate, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of Angus and Milking Shorthorn parentage. **Journal Animal Science**, v. 52, p. 51-56, 1981. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1981.52151x>.

TEIXEIRA C. M. et al. Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 33, p. 2011-2018, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p2011>.

TELEKEN, J. T. et al. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 39, n. 1, p. 73-81, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.31366>.

VENOT, E. et al. Genetic analysis of growth curve parameters for beef cattle using Markov chain Monte Carlo estimation methods. In: **55th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Bled**, Slovenia. PG 6.2 p. 1-8, 2004.

ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 79, n. 1, p.23-32, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0021-75572003000700004>.

CAPÍTULO II:
CURVA DE CRESCIMENTO DE MACHOS DA RAÇA ANGUS: PELAS
METODOLOGIAS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

RESUMO

Com intuito de compreender melhor a dinâmica entre o peso vivo em relação à idade, o estudo de curvas de crescimento animal a partir de modelos não lineares vem sendo realizado, no entanto, não há relatos de estudo sobre modelagem da curva de crescimento de bovinos construída a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população. O objetivo deste estudo foi avaliar o ajuste do modelo Von Bertalanffy aos dados de peso vivo de bovinos da raça Angus, obtidos pelo método longitudinal e transversal de coleta de dados e verificar se a metodologia transversal é capaz de descrever a curva de crescimento dessa população estudada. Foi utilizado 232 dados de peso vivo de 29 machos Angus, com idade variando entre zero a 21 meses sob a metodologia longitudinal e 1792 dados de peso vivo de 203 machos da mesma raça com idade variando entre zero a 46 meses sob a metodologia transversal. A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelo método de mínimos quadrados, utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R. Para verificar a adequada descrição da curva de crescimento foram realizados os seguintes critérios de qualidade de ajuste: coeficiente de determinação e desvio-padrão residual. O peso adulto estimado pelos métodos longitudinal e transversal foram 461 Kg e 627 Kg, respectivamente. Observou-se que o padrão do crescimento na metodologia longitudinal é intenso e contínuo até a idade estudada de 21 meses, apresentando um formato linear, comportamento que pode ser explicado pelo fato de que, até a idade em estudo, os animais estavam em fase de crescimento e não atingiram o peso adulto. A metodologia transversal apresentou um melhor ajuste de peso assintótico e índice de maturidade ao conjunto de dados estudados e o padrão de crescimento apresentou formando sigmoide. O modelo Von Bertalanffy se ajustou adequadamente para os dados de crescimento da população de machos Angus estudados com medidas transversais. Assim, podemos afirmar que o método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento em bovinos, reduzindo o tempo para a construção da curva de crescimento dos animais.

Palavras-chave: Idade. Método longitudinal. Método transversal. Peso vivo

1 INTRODUÇÃO

O crescimento em peso vivo de bovinos tem sido interesse de estudo nas pesquisas científicas, afim de, compreender melhor como ocorre à dinâmica do desenvolvimento ponderal dos animais em relação à idade. Neste sentido estudos de curvas de crescimento animal a partir de modelagens não lineares são utilizados para avaliação do crescimento de diversas espécies. Este método de análise apresenta a capacidade de resumir as informações contidas nos dados, permitindo interpretação biológica do processo e aplicação prática no manejo das propriedades rurais. Além disso, é uma ferramenta para seleção de animais mais pesados em idade precoce (FREITAS, 2005; MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2008; CARNEIRO et al., 2014).

Existem duas formas principais de coleta de dados para construção das curvas de crescimento animal: o método transversal e o longitudinal. O método transversal é mais usado nos estudos de pediatria, afim de, entender melhor o crescimento humano, sendo este mais barato, rápido e prático (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011). Neste método as curvas são obtidas a partir de medidas tomadas uma única vez nos indivíduos com base numa amostra de animais ou humanos. Um dos primeiros trabalhos utilizando este método em animais foi realizado com a espécie equina, por Souza et al. (2017), analisando medidas tomadas em 214 animais, comprovando sua eficiência e praticidade. Já no método longitudinal, os dados são tomados nos mesmos animais, desde o nascimento até a idade adulta, geralmente em amostras menores. Este método é o mais utilizado em estudo de crescimento animal, no entanto, demanda longo tempo de coleta de dados (ZEFERINO et al., 2003).

A maioria dos estudos com crescimento animal é realizada com bovinos das diferentes raças (MAZZINI et al., 2003, 2005; SOUZA et al., 2010; CARNEIRO et al., 2014). Nota-se que mesmo sendo importante a aplicação prática das curvas de crescimento sobre a tomada de decisões nas fazendas de criação de bovinos, não há relato de estudo sobre modelagem transversal da curva de crescimento em animais da raça Angus, tornando esta pesquisa inédita.

As funções que normalmente se usam para avaliar o crescimento são escolhidas de uma forma empírica e sua escolha se faz com base na capacidade da função se ajustar aos dados e em algumas ocasiões as estimativas dos parâmetros obtidas nestas funções não tem uma interpretação biológica. No entanto, as funções de crescimento podem ser caracterizadas mediante ao conhecimento de alguns delineamentos fisiológicos ou mecanismos biológicos segundo o proposto por Von Bertalanffy, permitindo que os parâmetros obtidos possam ser analisados através do ponto de vista produtivo (LÓPEZ et al., 1992).

Neste sentido fazem-se necessárias pesquisas sobre o crescimento desta raça por meio de modelos de regressão não lineares e assim entender melhor o desenvolvimento corporal dos animais de acordo com a idade. Desta maneira, por meio dos conhecimentos obtidos nesta pesquisa será possível o auxílio na melhoria dos manejos que são aplicados nas fazendas, principalmente aqueles relacionados aos programas nutricionais e de melhoramento genético da raça.

Os objetivos neste trabalho foram avaliar o ajuste do modelo Von Bertalanffy aos dados de peso vivo de bovinos da raça Angus, obtidos pelos métodos longitudinal e transversal e verificar se a metodologia transversal é capaz de descrever a curva de crescimento dessa população estudada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados

As informações utilizadas neste trabalho provêm de um banco de dados já existente da Fazenda Santa Éster da Casa Branca Agropastoril Ltda., localizada em Silvianópolis - Minas Gerais – Brasil nos anos de 2013 a 2017.

Foram utilizados os métodos longitudinal e transversal de coleta de dados. No método longitudinal primeiramente os animais foram divididos em oito classes de idade (CI), levando em consideração a frequência de dados: CI um: peso ao nascer, CI dois: um a três meses, CI três: quatro a seis meses, CI quatro: sete a nove meses, CI cinco: dez a doze meses, CI seis: treze a quinze meses, CI sete: dezesseis a dezoito meses, CI oito: dezenove a vinte e um

meses. Posteriormente, foram selecionados apenas os animais que tinham pesagens em todas as classes de idade já formadas. Assim, foram utilizados os dados de peso vivo de 29 machos da raça Angus, em 8 idades, totalizando 232 medidas. Os pesos foram obtidos do mesmo grupo de indivíduos, do nascimento até 21 meses de idade, ou seja, são medidas repetidas no mesmo animal durante sua vida, caracterizando o método longitudinal.

No método transversal foram tomadas medidas uma única vez em animais de diferentes idades ao longo do seu desenvolvimento, propiciando utilizar todos os animais do banco de dados, caracterizando assim uma amostragem transversal da população de machos desta raça. Foram anotados os dados de 203 machos da raça Angus, do nascimento até 46,5 meses de idade, totalizando 1792 observações. Os animais foram agrupados em nove classes de idade (CI), também levando em consideração as frequências de dados em cada classe: CI um: peso ao nascer, CI dois: um a cinco meses, CI três: seis a dez meses, CI quatro: onze a quinze meses, CI cinco: dezesseis a vinte meses, CI seis: vinte e um a vinte e cinco meses, CI sete: vinte e seis a trinta meses, CI oito: trinta e um a trinta e cinco meses e CI nove: maior que trinta e seis meses.

2.2 Ajuste da curva

Para descrição da curva de crescimento dos bovinos, foram geradas as médias dos pesos observados nas diferentes classes de idade para as duas metodologias. O modelo não linear utilizado foi o Von Bertalanffy ($y_i = a(1 - \exp\{-k*(t_i - b)\})^3 + \varepsilon_i$); em que “ y_i ” é o peso vivo do animal; “ t_i ” é a idade do animal; “ a ” é o valor assintótico, ou peso adulto do animal; “ b ” está associado ao ponto de inflexão do modelo; “ k ” é o índice de maturidade ou precocidade do modelo e quanto maior o valor de k , menos tempo será necessário para o animal atingir o seu peso adulto (a) e “ ε ” é o erro aleatório associado ao modelo, o qual se pressupõe que seja independente e identicamente distribuído segundo uma normal de média zero e variância constante, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ (FERNANDES et al., 2014).

Naturalmente a variabilidade do peso dentro das CI aumenta ao longo do tempo, assim a variância entre os animais dentro de uma mesma classe de idade foi calculada, de modo a

incorporar essa variabilidade na estimação dos parâmetros, por meio da ponderação pelo inverso da variância.

A estimação dos parâmetros deste modelo foi feita pelo método de mínimos quadrados, conforme Draper e Smith (1998), por meio do qual é obtido o Sistema de Equações Normais Não Lineares, utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R (R Development Core Team, 2015), estimando-se os parâmetros pela função `nls`, pelo método dos mínimos quadrados generalizados, do pacote `nlme`, descrito por Pinheiro e Bates (2000). Foi utilizado o teste de Shapiro-wilk para verificar a pressuposição de normalidade residual do modelo.

Para verificar a adequada descrição da curva de crescimento foram realizados os seguintes critérios de qualidade de ajuste: desvio-padrão residual (DPR), calculado pela expressão $DPR = \sqrt{QME}$, sendo QME o quadrado médio residual. Quanto menor for o DPR melhor o ajuste do modelo. Coeficiente de determinação (R^2), obtido por: $R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQTOTAL}$, em que SQE é a soma de quadrados dos resíduos e SQTtotal é a soma de quadrados total. O coeficiente de determinação varia de 0 a 1, tendo melhor ajuste o modelo cujo R^2 estiver mais próximo de 1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises descritivas das metodologias em estudo estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Classes de idade (classes), idade média dentro das classes (idade), número de dados de peso por classe (N dados), peso médio (peso) observados, desvio padrão e variâncias no decorrer do tempo obtidas pelo método longitudinal de coleta de dados

Classes	Idade (meses)	N dados	Peso (kg)	Variância (kg)	Fator de Ponderação (kg⁻² x 10⁻⁴)
1	0	29	34,55	37,83	26,4340
2	3	29	96,17	630,27	1,5866
3	6	29	192,26	1892,92	0,5283
4	9	29	247,23	2842,8	0,3518
5	12	29	301,3	65522,21	0,0153
6	15	29	341,94	7233,49	0,1382
7	18	29	419,55	10294,55	0,0971
8	21	29	484,46	15065,19	0,0664

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 2 - Classes de idade (classes), idade média dentro das classes (idade), número de dados de peso por classe (N dados), peso médio (peso) observados, desvio padrão e variâncias no decorrer do tempo obtidas pelo método transversal de coleta de dados

Classes	Idade (meses)	N dados	Peso (kg)	Variância (kg)	Fator de Ponderação (kg⁻² x 10⁻⁴)
1	0	232	34,37	149,47	66,9031
2	3	571	115,7	2336,42	4,2801
3	8	462	238,7	3673,22	2,7224
4	13	276	336,3	7626,24	1,3113
5	18	167	423	11833,65	0,8450
6	23	46	537,9	32384,44	0,3088
7	28	22	585,7	45828,59	0,2182
8	33	8	597	57194,29	0,1748
9	38	8	599,5	2596,86	3,8508

Fonte: Do autor (2019).

As estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento (a , b e k) e os indicadores de qualidade de ajuste do modelo (R^2 e DPR) estão apresentados na Tabela 3, para cada metodologia de coleta de dados.

Tabela 3 - Parâmetros estimados e avaliadores de qualidade de ajuste do modelo Von Bertalanffy na descrição da curva de crescimento em peso vivo de machos Angus

Parâmetros	Metodologias	
	Longitudinal	Transversal
a	461,05	627,20
k	0,151	0,098
b	3,650	4,978
R^2	0,990	0,998
DPR	0,398	0,216

a = valor assintótico ou peso a maturidade (kg); k = índice de precocidade ou maturidade; b = ponto de inflexão do modelo (meses); R^2 = Coeficiente de Determinação; DPR = Desvio Padrão Residual (DPR).

Fonte: Do autor (2019).

Os indicadores de qualidade de ajuste mostraram que o modelo descreveu adequadamente o desenvolvimento ponderal para as duas metodologias, com valores de coeficiente de determinação superiores a 99%, com vantagem para o método transversal que obteve valor maior para R^2 e menor para DPR.

A escolha do método mais adequado para estimar o crescimento em função da idade é dependente, entre outros fatores, da raça, do ambiente, tamanho do conjunto de dados, existência de valores influenciasais ou "outliers", idade do animal nas últimas pesagens e nas oscilações nos valores dos pesos com a idade (SILVA et al., 2011). Assim, a metodologia transversal possibilita obter maiores informações de pesos até idades mais avançadas, possibilitando uma melhor qualidade de ajuste.

A estimativa de peso adulto (a) obtida pela metodologia longitudinal foi de 461,05 kg e o a pela metodologia transversal foi de 627,20 kg. Ao comparar as estimativas deste parâmetro, observou-se uma subestimação pelo método longitudinal. Fato este, que pode ser

explicado pela escassez de observações de pesos a idade mais avançadas, prejudicando a estimativa do parâmetro e conseqüentemente levando a concluir que essa já é uma limitação da metodologia longitudinal, pois na maioria dos casos de bovinos, os produtores vendem ou abatem seus animais antes dessa idade.

Machos não castrados de pequeno porte corporal, como animais Angus, Gir e Red Angus, atingem o peso adulto com 510 kg, segundo Minish e Fox (1982). Goldberg e Ravagnolo (2015) e Stewart e Martin (1981), ambos estudando vacas Angus encontraram valores de peso adulto (448,9 e 485,0 kg, respectivamente) próximo ao encontrado neste estudo pela metodologia longitudinal. De uma forma geral, fêmeas apresentam peso corporal menor que os machos, visto que eles possuem características sexuais secundárias que influenciam o crescimento de regiões corporais e afetam diretamente o peso corporal (SOUZA et al., 2017).

Observou-se que à medida que aumenta o peso assintótico houve diminuição do índice de precocidade (k) em ambas as metodologias. Esse comportamento antagônico tem sido relatado por outros autores, como Souza et al. (2010), que encontraram correlação negativa entre os parâmetros a e k , indicando que os animais mais precoces possuem menores probabilidades de atingir pesos elevados à idade adulta. Indivíduos com maior tamanho corporal adulto apresentam maiores requerimentos nutricionais de manutenção, sendo mais tardios, por isso apresentaram menor velocidade de crescimento. Isso é justificado pela relação existente entre peso e tamanho corporal dos animais, pois maiores pesos são apresentados por animais com maiores medidas corporais e vice-versa. (LOPES et al., 2016).

De acordo com McLaren et al. (1982), o número e o intervalo das pesagens disponíveis de cada animal podem influenciar as estimativas dos parâmetros a e k . Quando os dados disponíveis contemplam apenas o crescimento antes dos animais atingirem a maturidade, as estimativas desses parâmetros podem estar sujeitas a erros (GARNERO et al., 2005), mais uma razão para buscarmos metodologias que evitem esses erros e a metodologia transversal demonstra ser suficiente para descrever as curvas de crescimento animal.

Para a descrição adequadamente da curva de crescimento é importante que medidas de peso em idades avançadas estejam disponíveis. Assim, a utilização da metodologia transversal apresentou um melhor ajuste de peso assintótico e índice de maturidade ao conjunto de dados

estudados. Além de ser um método menos oneroso, mais rápido e prático, reduzindo assim o tempo para a construção da curva de crescimento dos animais e propicia amostrar animais de todas as faixas de idade.

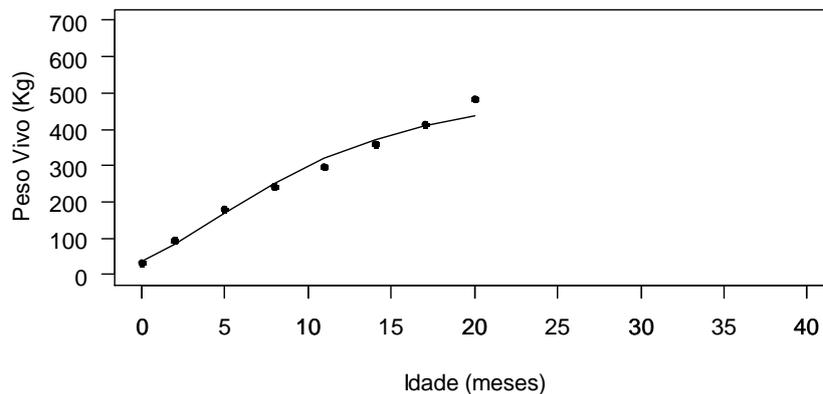
O parâmetro b está associado ao ponto de inflexão do modelo, ou seja, representa o momento em que a curva de crescimento do animal passa de auto-aceleração para desaceleração do crescimento. No presente estudo, a estimativa deste parâmetro para o método longitudinal foi aproximadamente aos três meses e meio. No método transversal, foi aproximadamente aos cinco meses de idade, o que demonstra que nestas idades, o índice de maturidade começou a diminuir em virtude de uma série de fatores que inibem progressivamente o crescimento, embora o animal não deixe de crescer (LOPES et al., 2016).

O modelo de Von Bertalanffy possui a características do ponto de inflexão (b) é fixo em aproximadamente 30% do valor assintótico, ou seja, o ponto de inflexão ocorreu antes de o animal atingir metade do seu peso assintótico.

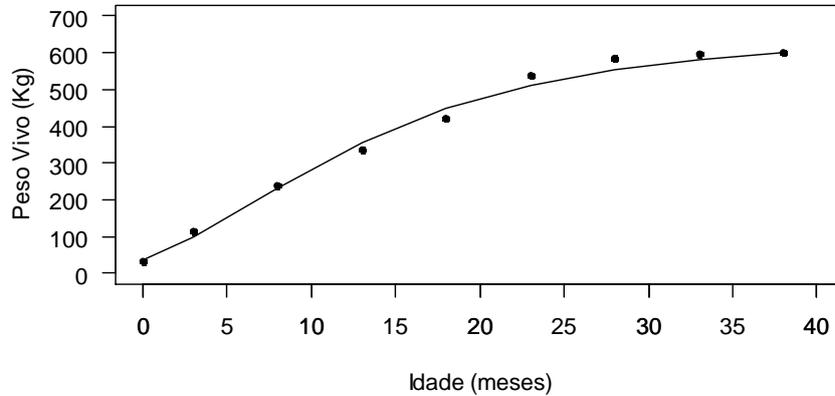
Pode-se observar nas Figura 1 o ajuste de cada metodologia em relação aos pesos estimados.

Figura 1 - Representação das curvas de crescimento em peso vivo, obtidas pelos métodos longitudinal (A) e transversal (B) de coleta de dados no modelo Von Bertalanffy para machos da raça Angus

A)



B)



Fonte: Do autor (2019).

Ao avaliar a curva de crescimento estimada pela metodologia longitudinal, observou-se que o padrão do crescimento é intenso e contínuo até a idade estudada de 21 meses, apresentando um formato linear (Figura 1). Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que, até a idade em estudo, os animais estavam em fase de crescimento e não atingiram o peso adulto. É possível que, dispondo-se de informações até idades mais avançadas, as estimativas de pesos e os parâmetros sejam mais precisos, corroborando com resultado encontrado por Lopes et al. (2011) aos quais avaliaram bovinos da raça Nelore.

No método transversal, observou um crescimento maior e mais homogêneo nos animais até os cinco meses de idade, havendo aceleração da sua velocidade até que a puberdade seja atingida, diminuindo gradativamente até a maturidade. E a partir dos 36 meses de idade, observa-se que a curva de crescimento tende a estabilizar, sugerindo que os animais cresçam em peso corporal até próximo a esta idade (Figura 2).

Morrow et al. (1978), mostraram que a estabilidade de peso foi obtida somente após 54 meses de idade avaliando animais da raça Angus. Beltran et al. (1992) constataram que o peso se manteve constante após 66 meses de idade e Rosa et al. (2000) recomenda-se que sejam utilizadas pesagens do nascimento aos 48 meses de idade, pelo menos, para fêmeas bovinas. Estes dados indicam que animais de idade menor que 54 meses de idade dificilmente

terão convergência satisfatória nas funções não lineares para crescimento, pois ainda não atingiram o peso adulto.

Do ponto de vista prático, a obtenção de dados longitudinais para descrever o crescimento de bovinos demanda muito tempo, por ser necessário acompanhar o mesmo animal desde o seu nascimento até a idade adulta, ocasionando uma escassez de dados, pois na maioria dos casos, os produtores vendem seus reprodutores ou abatem antes dessa idade. Já para a metodologia transversal, não é necessário obter dados de peso de um mesmo animal do seu nascimento até a idade adulta, pois as curvas são construídas a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população, assim possibilitando ter mais dados disponíveis para o estudo do crescimento animal, tornando essa metodologia uma opção muito boa para este tipo de estudo.

4 CONCLUSÃO

O modelo Von Bertalanffy se ajustou adequadamente para os dados de crescimento da população de machos Angus estudados com medidas transversais. Podemos afirmar que o método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento em bovinos, via modelos não lineares, reduzindo o tempo para a construção da curva de crescimento dos animais da raça Angus.

REFERÊNCIAS

- BELTRAN, J. J. et al. Growth patterns of two lines of angus cattle selected using predicted growth parameters. **Journal Animal Scienci**, v. 70, p. 734-741, 1992.
- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar 279 curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v. 49, n.1, p.57-62, 2014.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1998.
- FERNANDES, T. J. et al. Seleção de modelos não-lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p. 207-215, 2014.
- FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n.3, p. 786-795, 2005.
- GARNERO, A.V. et al. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 57, n. 5, p. 652-662, 2005.
- GOLDBERG, V.; RAVAGNOLO, O. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 9, p. 4285-4290, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9208>.
- LÓPEZ DE TORRE, G. et al. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 9, p. 2668-2672, 1992.
- LOPES, F. B. et al. Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia** (Internet), v. 65, p. 123-129, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21071/az.v65i250.478>.
- MAZZINI A. R. A. et al. F. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1105-1112, 2003.
- MAZZINI A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.
- McLAREN, J. B. et al. Impact of number and frequency of weighings on bovine weight-age curve parameters. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 1, p. 51-57, 1982.
- MENDES, P. N. et al. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, out. 2008.

MINISH, G. L.; FOX, D. G. Beef production and management, 2nd ed. Reston, VA: Reston Publishing Company, 1982. 470p

MORROW, R. E. et al. Effects of age on estimates of bovine growth-curve parameters. **Journal Animal Science**, v. 47, n. 2, p. 352-357, 1978. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1978.472352x>.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-Effects Models in S and S-Plus**. New York: Springer-Verlag, p. 528, 2000.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

ROSA, A. N. et al. Variabilidade genética do peso adulto de matrizes em um rebanho Nelore do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1706-1711, 2000

SILVA, D. A. S. et al. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010.

SILVA, F. L. et al. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 262-271, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300006>.

SOUZA, F. A. C. et al. Nonlinear modeling growth body weight of Mangalarga Marchador horses. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 4, 2017.

SOUZA, L. A. et al. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 671-676, 2010.

SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p.565-574, 2011.

STEWART, T. S.; MARTIN, T. G. Optimal mature size of Angus cows for maximum cow productivity. **Animal Production**, v. 37, p. 179-182, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100001707>.

ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 79, n. 1, p.23-32, 2003.

CAPÍTULO III:
ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE
CARCAÇA EM BOVINOS DA RAÇA ANGUS

RESUMO

As características de carcaça são importantes na determinação da eficiência de produção de carne bovina e da qualidade do produto, e o conhecimento de parâmetros genéticos é essencial para o delineamento de programas de seleção para melhorá-las. O objetivo neste estudo foi estimar os efeitos ambientais sobre as características peso, área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS), espessura de gordura na garupa (EGP8) e percentagem de gordura intramuscular (PGI), medidos em média aos 19 meses de idade, e estimar os parâmetros genéticos para essas características, em 287 bovinos da raça Angus. Utilizou-se o método dos quadrados mínimos, cujo modelo estatístico incluiu os efeitos de ano de nascimento, estação de nascimento e prova de desempenho e a covariável idade do animal. Para estimar os parâmetros genéticos, foram realizadas análises pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando-se um modelo animal com efeitos fixos e os efeitos aleatórios genético aditivo direto e residual. A herdabilidade (h^2) estimada para a característica espessura de gordura na garupa (EGP8) foi de baixa magnitude (0,18). Para as características peso, espessura de gordura subcutânea (EGS) e percentagem de gordura intramuscular (PGI), as h^2 foram moderadas (0,36, 0,22 e 0,36, respectivamente) e a h^2 para área de olho de lombo (AOL) foi de alta magnitude (0,41). Dessa forma podemos concluir que a utilização de características que apresentam herdabilidades de moderadas a altas magnitudes respondem mais à seleção quando comparadas às características de baixa herdabilidade. As estimativas de correlações genéticas entre as características peso e AOL (0,91), peso e EGS (0,83), peso e EGP8 (0,77), AOL e EGP8 (0,78) e entre EGS e EGP8 (0,99) foram positivas e de alta magnitude. A correlação entre peso e PGI foi alta e negativa (-0,85). Correlações de moderada magnitude foram estimadas entre as características AOL e EGS (0,50) e entre AOL e PGI (-0,59). As correlações entre EGS e PGI (0,23) e entre EGP8 e PGI (-0,01) foram de baixas magnitudes. Os resultados indicam que a maioria das características avaliadas podem ser usadas como critérios de seleção no intuito de obter progresso genético para tais características no rebanho estudado da raça Angus e que selecionando para peso podemos obter resposta à seleção nas características de carcaça, com exceção para a PGI.

Palavras – chave: Área de olho de lombo. Correlação genética. Espessura de gordura. Gordura intramuscular. Herdabilidade. Peso.

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de se conduzir um sistema produtivo de carne de maneira eficiente, em curto espaço de tempo, torna imprescindível a produção e a seleção de animais com alta precocidade de crescimento. Entre os inúmeros fatores que influenciam de forma direta essa produção está a constituição genética dos animais.

Os programas de melhoramento genético de bovinos de corte buscam identificar e selecionar animais que possuem um maior valor genético para caracteres importantes como características desejáveis de carcaça.

Considerado um método não invasivo, o uso da ultrassonografia *in vivo* estima a quantidade de gordura e massa muscular depositada ao longo da vida do animal. Rapidez e confiabilidade são pontos que atribuem a essa tecnologia alto grau de repetibilidade em suas mensurações na carcaça (PERKINS et al., 1992).

Com a estimação de parâmetros genéticos é possível prever respostas diretas e correlacionadas à seleção, permitindo obter informações sobre a natureza da ação dos genes envolvidos na herança das características de interesse econômico e estabelecer a base para a escolha do método de melhoramento mais adequado para a população em interesse (CORRÊA, 2016). Portanto, o estudo dos componentes de variância e das estimações dos parâmetros genéticos é de grande importância para o desenvolvimento da pecuária de corte nacional.

Os objetivos neste estudo foram estimar os efeitos de ambiente sobre as características área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, espessura de gordura na garupa e percentagem de gordura intramuscular, e estimar os parâmetros genéticos dessas características e do peso em bovinos da raça Angus, avaliados em provas de desempenho, em média com 19 meses de idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados

O banco de dados utilizado neste estudo foi proveniente de registros da Fazenda Santa Éster, do grupo Casa Branca Agropastoril Ltda., localizada no município de Silvianópolis, no estado de Minas Gerais, Brasil.

Foram utilizados dados de 287 touros da raça Angus submetidos à provas desempenho em confinamento e semi-confinamento, filhos de 77 touros e 185 matrizes. O arquivo de dados estudado continha informações de peso vivo e medidas tomadas por ultrassonografia: área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS), espessura de gordura na garupa (EGP8) e percentagem de gordura intramuscular (PGI), coletadas e interpretadas usando o software UICs da CUPLab por um técnico certificado pela *Ultrasound Guidelines Council* (UGC), entre os anos de 2012 e 2017. A idade média dos animais na data da avaliação era de 568 dias, com peso médio de 419 kg.

As medidas EGS (mm) e a AOL (cm²) foram coletadas transversalmente no músculo *Longissimus* na região entre a 12^a e 13^a costelas com um equipamento de ultrassonografia com transdutor linear de 3,5 MHz ASP 30C/18 cm, específico para avaliação de carcaça. A espessura de gordura na garupa (EGP8) foi coletada na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*, localizados entre o ilio e o isquio. Na medição de gordura intramuscular, a imagem coletada pelo escâner do equipamento foi analisada por um programa computacional para mensurar a quantidade de gordura no tecido muscular (%). As medidas de ultrassonografia foram tomadas no final de cada prova de desempenho, data em que também foram obtidos os pesos (kg) dos animais.

2.2 Estimativas de parâmetros genéticos

As informações de genealogia, data de nascimento, grupo de contemporâneo, data da medição por ultrassonografia (AOL, EGS, EGP8 e PGI) e peso na ocasião da coleta, foram consideradas na estimação da herdabilidade, correlações genéticas e residuais das características de carcaça.

Para avaliar os efeitos ambientais, foram realizadas análises de variância pela metodologia dos quadrados mínimos, utilizando procedimentos GLM (*General Linear Model*) do programa SAS (SAS, 2004), que incluiu os efeitos de ano de nascimento, estação de nascimento, prova de desempenho, além da covariável idade do animal por ocasião da

medida. O efeito de estação de nascimento foi dividido em quatro classes: animais nascidos nos meses de setembro a novembro (classe 1), dezembro a fevereiro (classe 2), março a maio (classe 3) e junho a agosto (classe 4).

Para obtenção dos componentes de (co)variância, das herdabilidades e correlações genéticas entre as características foram realizadas análises uni-característica e bi-características. Dessa forma, as estimativas de herdabilidade, foram obtidas por meio de análises unicaráter, enquanto as estimativas de correlações, foram obtidas em análises bicaráter. Utilizou-se um modelo animal com os efeitos fixos de grupo de contemporâneos e da covariável idade do animal na data da medida (efeito linear), além dos efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos e residuais. O grupo de contemporâneos (GC) foi formado pelas seguintes variáveis: ano de nascimento, estação de nascimento e prova de desempenho. Os GC com menos de dois animais foram excluídos, restando 18 GC. A matriz de parentesco foi composta de 546 animais.

As análises foram realizadas pelo método da máxima verossimilhança restrita, utilizando o programa computacional AIREMLF90 (MISZTAL, 2015).

O modelo estatístico na forma matricial é descrito como:

$y = X\beta + Za + e$, em que: y = vetor das variáveis dependentes; β = vetor de efeitos fixos (grupo de contemporâneo e covariável); a = vetor de efeitos genéticos aditivos diretos; e = vetor de erros aleatórios residuais associados às observações; e X e Z = respectivas matrizes de incidência para cada efeito.

Este modelo leva em conta as seguintes pressuposições:

$$E(y) = X\beta, E(a) = 0 \text{ e } E(e) = 0,$$

$\text{Var} \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$, em que: $G = A \sigma_a^2$, matriz de variância genética aditiva; A = matriz de parentesco; $R = I \sigma_e^2$, matriz de variância residual; I = matriz identidade; σ_a^2 = variância genética aditiva direta e σ_e^2 = variância residual.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a estrutura dos dados e estatísticas descritivas das características estudadas.

Tabela 1 - Estrutura dos dados e estatísticas descritivas das características peso, área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS), espessura de gordura na garupa (EGP8), porcentagem de gordura intramuscular (PGI) e idade na mensuração de bovinos da raça Angus.

Características	N	Média ± desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo
AOL (cm ²)	287	66,09 ± 11,63	17,61	30,26	96,97
EGS (mm)	287	3,48 ± 1,15	33,00	1,02	10,16
EGP8 (mm)	287	3,93 ± 1,63	41,41	1,02	10,41
PGI (%)	287	2,62 ± 0,61	23,15	1,27	4,91
Peso (kg)	287	418,55 ± 76,62	18,31	235	626
Idade (dias)	287	567,79 ± 78,93	13,90	386	719

Fonte: Do autor (2019).

O valor médio da área de olho de lombo descrito na Tabela 10 foi superior ao observado por Pinto et al. (2013), que obtiveram valor de 46,57 cm² em animais Angus criados em diversas condições de manejos, com idades semelhantes às dos animais deste trabalho. Diversos autores observaram valores superiores aos do presente estudo para as médias de AOL em animais da raça Angus com idades entre 391 e 527 dias, que variaram de 72,01 a 76,59 cm² (KEMP et al., 2002; REVERTER et al., 2000; WILSON et al., 1993).

A espessura de gordura subcutânea (EGS) com média de 3,48 mm, foi superior à observada por Pinto et al. (2013), de 2,12 mm, por Reverter et al. (2000), que relataram espessura média de 3,01 mm e Wilson et. al (1993) de 1,29 mm. Yokoo et al. (2008) relatou média inferior, de 1,93 ± 1,36 mm em bovinos da raça Nelore criados em pastagem ou semiconfinados entre 15 e 19 meses. De acordo com o mesmo autor, animais zebuínos têm apresentado valores menores para as médias de EGS, comparado aos animais taurinos.

Como esperado os valores para espessura de gordura na garupa (EGP8) foram superiores aos da subcutânea (EGS), já que a primeira é depositada precocemente de acordo com a sequência de crescimento, que ocorre das extremidades para o centro do corpo do animal (BERG e BUTTERFIELD, 1976).

A média de gordura intramuscular (PGI) com valor de 2,62 % observada neste trabalho é inferior às encontradas por Kempet al. (2002), MacNeil et al. (2010), Reverter et al.

(2000) para animais da mesma raça com idades entre 391 a 480 dias, que variaram de 3,00 a 4,6%.

De acordo com Luchiari Filho (2000), a gordura intramuscular, ou marmoreio, é a última a ser depositada na carcaça e o animal pode ter quantidades consideráveis de gordura interna e subcutânea e não ter quantidade razoável de marmorização.

Observou-se, elevado coeficiente de variação (33,00 e 41,41 %) para as características EGS e EGP8 respectivamente, valor que concorda com Meyer et al. (2004) que reportaram média de 3,46 mm e desvio padrão de 1,55 mm para a EGS de touros Hereford. Reverter et al. (2000) observaram média de 4,19 mm e desvio padrão de 2,03 mm para a EGP8 em machos da raça Angus. SAPP et al. (2002) avaliaram bovinos da raça Angus e relataram coeficientes de variação na ordem de 33,33% a 46,36% para as características de carcaça EGS e EGP8, valores superiores aos obtidos neste trabalho.

Todos os efeitos incluídos nos modelos foram significativos ($P < 0,05$ e $P < 0,01$) para todas as características.

Tabela 2 - Estimativas dos componentes de variância e herdabilidade para características de carcaça e peso obtidas por análises uni-características para bovinos da raça Angus.

Características	Estimativas				
	σ_a^2	σ_e^2	σ_p^2	h^2	SD
Peso	1070,9	1893,2	2964,1	0,36	0,18
AOL	37,55	52,96	90,51	0,41	0,17
EGS	0,22	0,80	1,02	0,22	0,16
EGP8	0,36	1,66	2,02	0,18	0,16
PGI	0,13	0,23	0,36	0,36	0,20

σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_e^2 = variância residual; h^2 = herdabilidade; SD = desvio padrão; AOL = área de olho-de-lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = espessura de gordura na garupa e PGI = percentagem de gordura intramuscular.

Fonte: Do autor (2019).

As estimativas de herdabilidade para a maioria das características estudadas foram de moderada a alta magnitude, com exceção da herdabilidade para EGP8 que foi baixa (Tabela 2). Esses resultados evidenciam para a maioria das características estudadas existe variabilidade genética e que podemos obter ganho genético trabalhando com a seleção direta.

A herdabilidade estimada para o peso ($h^2 = 0,36$) apresenta-se de acordo com valores reportados por Yokoo et al. (2007), que observaram valores entre 0,25 e 0,49 entre os 120 e 550 dias de idade. Giannotti et al. (2005), relataram herdabilidade de 0,32 para animais Nelore, aos 550 dias de idade. Por outro lado, a estimativa foi inferior aos valores encontrados por Alencar et al. (1993) e por Mascioli et al. (1996), para a raça Canchim ao sobreano ($h^2 = 0,41$ e $0,54$, respectivamente) e por Lima Neto et al. (2009), para a raça Guzerá ($h^2 = 0,41$). Essas diferenças podem ser explicadas pelo volume de dados analisados e pelo peso final obtido em idades distintas, além do que sabemos que este parâmetro genético é determinado para cada população.

Figueiredo et al. (2001) ao avaliar bovinos da raça Nelore, observaram valor similar de herdabilidade, estimada em 0,41 para a característica AOL. Keemp et al. (2002), Pinto et al. (2009), Reverter et al. (2000) e Wilson et al. (1993), relataram estimativas inferiores em animais da raça Angus, com os valores entre 0,29 a 0,37. Os resultados sugerem que se pode obter progresso genético para o rendimento de carcaça, utilizando as informações AOL obtidas por ultrassonografia de carcaça, como critério de seleção.

A estimativa de herdabilidade encontrada para EGS ($h^2 = 0,22$) foi inferior às obtidas por Kemp et al. (2002) e Reverter et al. (2000), ambos trabalhando com a raça Angus criados em regime de confinamento ($h^2 = 0,39$ e $0,47$, respectivamente). Yokoo et al. (2008) e Lima Neto et al. (2009) também encontraram estimativas de herdabilidade para EGS superiores para a raça Nelore ($h^2 = 0,52$), com animais em regime de pastagem e semiconfinados. Por outro lado, Meirelles et al. (2010) avaliaram animais Canchim e Wilson et al. (1993) bovinos da raça Angus, estimaram o valor de herdabilidade de 0,24 e 0,26, respectivamente para a EGS, valores próximo ao estimado neste trabalho.

As duas medidas de gordura apresentaram valores próximos de herdabilidade, sendo de 0,22 para EGS e de 0,18 para EGP8. Reverter et al. (2000) observaram maiores valores para a EGP8 em Angus e Hereford ($h^2 = 0,51$ e $0,75$, respectivamente), quando comparados a EGS ($h^2 = 0,47$ e $0,70$, respectivamente). Kemp et al. (2002) observaram valores de herdabilidade para EGP8 e EGS de 0,39 e 0,29 para animais da raça Angus. Elzo et al. (1998), estimaram coeficientes de herdabilidade de 0,18, 0,03 e 0,02 em novilhos 1/2, 1/4 e 1/8 Brahman, respectivamente, mostrando que à medida que diminuía a genética de *Bos indicus* nos cruzamentos decrescia a herdabilidade para espessura de gordura subcutânea.

Neste estudo, os resultados obtidos para as características de acabamento (EGS e EGP8) foram de menor magnitude, porém, sugerem que tais características são passíveis de resposta à seleção direta.

Segundo Berg e Buterfield (1979), a gordura é um tecido de deposição tardia em relação a outros tecidos corpóreos e, geralmente, bovinos de raça mais precoces têm um menor tamanho e começam a deposição de gordura subcutânea a um peso menor.

A herdabilidade encontrada neste trabalho para percentagem de gordura intramuscular (PGI) foi de 0,36. Reverter et al. (2000), Kemp et al. (2002), MacNeil et al. (2010) relataram estimativas de $h^2 = 0,18, 0,31, 0,51$, respectivamente quando avaliaram animais desta mesma raça. Elzo et al. (1998), relatam herdabilidades crescentes com o decréscimo de sangue Brahman em cruzamentos com animais Angus. Crouse et al. (1989), avaliaram características qualitativas da carne oriundos de cruzamento *Bos taurus* com animais *Bos indicus* e observaram tendências de decréscimo no grau de marmoreio com o aumento do genótipo zebuíno.

As estimativas de herdabilidade para as características avaliadas indicam que as mesmas são passíveis de seleção e que porção da variância fenotípica pode ser atribuída ao efeito aditivo dos genes.

Os desvios-padrão das estimativas de herdabilidades entre as características analisadas foram altos devido ao número de animais envolvidos nas análises.

Tabela 3 - Correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) para características de carcaça e peso obtidas por análises bi-características para bovinos da raça Angus.

Características	Peso	AOL	EGS	EGP8	PGI
Peso	-	0,91	0,83	0,77	-0,85
AOL	0,77	-	0,50	0,78	-0,59
EGS	0,47	0,48	-	0,99	0,23
EGP8	0,53	0,47	0,66	-	-0,01
PGI	-0,23	-0,34	-	-	-

AOL = área de olho-de-lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = espessura de gordura na garupa e PGI = percentagem de gordura intramuscular.

Fonte: Do autor (2019).

A Tabela 3 apresenta as estimativas de correlações genéticas e fenotípicas para todas as características estudadas. A maioria delas foi positiva com exceção das correlações entre Peso e PGI, AOL e PGI, EGP8 e PGI. Os resultados de correlações positivas e altas indicam que a seleção de uma característica implicará na elevação do mérito genético da outra.

Foram encontradas correlações genéticas positivas entre peso e as medidas de carcaça avaliadas por ultrassonografia, com exceção para a gordura intramuscular ($r_g = -0,85$). Peña et al. (2014) obtiveram correlação positiva entre as mesmas características estudadas, exceto para a gordura intramuscular que, assim como a correlação obtida no presente trabalho, foi negativa. Isso significa que a seleção para melhoria de uma característica poderá não ser vantajosa, em virtude da redução na segunda.

A correlação genética estimada de Peso entre AOL e EGS ($r_g = 0,91$ e $0,83$) é maior do que as reportadas em outros estudos, como os de Kemp et al. (2000), que obtiveram correlações iguais a $0,71$ e $0,33$, respectivamente, com animais da raça Angus. Esses valores indicam que a seleção para peso promove melhoria na qualidade da carcaça. Meirelles et al. (2010) também encontraram estimativas inferiores de correlação genética avaliando animais Canchim, com valores de $0,62$ entre Peso e AOL e $0,57$ entre Peso e EGS.

As correlações genéticas estimadas de AOL com EGS e EGP8 ($r_g = 0,50$ e $0,78$) foram de magnitudes altas. Estas estimativas são maiores do que as reportadas em outros estudos como os de Kemp et al. (2002) e Meirelles et al. (2010) que obtiveram correlações genéticas iguais a $0,23$ e $0,21$ entre AOL e EGS, respectivamente. Esses resultados indicam que a seleção para AOL poderá resultar aumentos em EGS e EGP8 e vice-versa.

O antagonismo entre a AOL e as espessuras de gordura, tanto entre a 12^a e 13^a costelas quanto a medida sobre o músculo *Biceps femoris*, apontada em alguns trabalhos como os de Minicket al. (2004) que obtiveram $r_g = -0,57$ entre as características, em animais Angus, Charolês, Hereford e Simental; e de Crews et al. (2008) $r_g = -0,43$, em animais da raça Simental, não foi confirmado pelo presente trabalho. Outros autores encontram correlação genética negativa próxima a zero de AOL com EGS e EGP8 (MEIRELLES et al., 2010; REVERTER et al., 2000; WILSON et al., 1993), sinalizando a independência genética entre as características.

No entanto a área de olho de lombo foi afetada negativamente quando houve incremento na percentagem de gordura intramuscular. A correlação genética estimada entre

AOL e PGI foi alta e negativa, $r_g = -0,59$. Reverter et al. (2000) encontrou herdabilidade de magnitude moderada ($r_g = -0,35$) em animais Angus e Devitt e Wilton (2001) ($r_g = -0,27$), em animais cruzados. Embora outros autores não tenham obtido antagonismo entre as duas características (CREWS et al., 2004; KEMP et al., 2002; RILEY et al., 2002) (0,12 em animais Simental; 0,16 em animais Angus e 0,10 em animais Brahman, respectivamente), essa relação deve ser considerada nos critérios de seleção em programas de melhoramento genético, que devem incluir ambas as características e ir de encontro ao objetivo do produtor.

A correlação genética estimada entre espessura de gordura subcutânea (EGS) e espessura de gordura na picanha (EGP8) foi positiva e de alta magnitude ($r_g = 0,99$) sugerindo que essa estimativa indica que a seleção para aumento de EGS deverá também resultar em aumentos em EGP8 ou vice versa. Este resultado é semelhante ao relatado por Reverter et al. (2000), que encontraram estimativas de correlação genética de 0,94, avaliando animais da raça Angus.

A correlação genética entre EGS e PGI estimada neste trabalho é de baixa magnitude ($r_g = 0,23$), sugerindo que a seleção para EGS contribui em pequena proporção para a seleção para PGI. Segundo Luchiari Filho (2000) espessuras de gordura muito pequenas ocasionam problemas no manuseio da carcaça e o encurtamento das fibras pelo frio, em contrapartida o excesso é indesejável, diminui o rendimento da porção comestível e necessita ser aparado para comercialização. Dessa forma busca-se o incremento no marmoreio da carne, que confere maior palatabilidade e suculência, sem aumento na gordura subcutânea (THOMPSON, 2004).

Essas considerações são importantes no sentido de orientar o criador na escolha e definição dos critérios de seleção a serem aplicados na seleção dos animais. Kempet al. (2002) e Reverter et al. (2000) estimaram valores de 0,38 e 0,57, para a raça Angus, respectivamente.

De acordo com a estimativa de correlação genética entre a PGI e a EGP8 ($r_g = -0,01$) obtida no presente estudo, sugere-se que essas duas características são determinadas por diferentes conjuntos de genes de ação aditiva, levando a conclusão de que se selecionarmos para PGI não acarretará na seleção da EGP8. Maior correlação foi relatada por Reverter et al. (2000) em animais da raça Angus ($r_g = 0,41$), Gregory et al. (1994) com medidas feitas

diretamente na carcaça de animais cruzados ($r_g = 0,32$) e por Riley et al. (2002) em animais Brahman ($r_g = 0,30$), diferente do encontrado no presente estudo.

Segundo Robertson (1959) quando a correlação genética entre duas características for menor que 0,8 ambas devem ser incluídas nos programas de seleção, dessa forma para a maioria das características aqui avaliadas devem estar presentes nos índices de seleção dos programas de melhoramento.

4 CONCLUSÃO

Para este rebanho estudado, os efeitos de ano de nascimento, estação de nascimento e prova de desempenho devem ser incluídos no modelo de análise para estimar parâmetros genéticos para as características de carcaça e peso.

As características de carcaça área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, espessura de gordura na garupa e porcentagem de gordura intramuscular, mensuradas por ultrassonografia ao sobreano, devem responder à seleção, resultando em progresso genético em animais da raça Angus do rebanho estudado.

A seleção para peso ao sobreano deve resultar em mudanças correlacionadas nas características de carcaça, com exceção da porcentagem de gordura intramuscular.

O conhecimento das relações genéticas facilita a correta utilização das diferentes características no processo de seleção dos melhores animais.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. M. et al. Parâmetros genéticos para peso e circunferência escrotal em touros da raça Canchim. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.4, p.572-583, 1993.
- BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth cattle growth**. Sydney: University Press, p. 240, 1976.
- CORRÊA, G. N. **Parâmetros genéticos de caracteres quantitativos relacionados à produtividade de rebanhos selecionados da raça Nelore**. 2016. 83 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- CREWS, D. H. et al. Genetic evaluation of retail product percentage in Simmental cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 125, n. 1, p. 13–9, fev. 2008.
- CROUSE, J.D. et al. Comparisons of Bos indicus and Bos taurus inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. **Journal of Animal Science**, v.67, n.10, p.2661-2668, 1989.
- DEVITT, C. J.; WILTON, J. W. Genetic correlation estimates between ultrasound measurements on yearling bulls and carcass measurements on finished steers. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 11, p. 2790–7, nov. 2001.
- ELZO, M. A. et al. Genetic variation and prediction of additive and nonadditive genetic effects for six carcass traits in an Angus-Brahman multibreed herd. **Journal of Animal Science**. v. 76, p.1810–1823, 1998.
- FARIA, M. H. A ultrassonografia como critério de abate em bovinos de corte. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n.1, jan/jun, 2012.
- FIGUEIREDO, L. G. G. **Estimativas de parâmetros genéticos de características de carcaças feitas por ultrasonografia em bovinos da raça Nelore**. 2001. 67 p. 67 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.
- GIANNOTTI, J. F. G. et al. Metaanálise das estimativas de herdabilidade para características de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1173-1180, 2005.
- GREGORY, K.E. et al. Breed effects and retained heterosis for growth, carcass, and meat traits in advanced generations of composite populations of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.72, p.833-850, 1994.
- KEMP, D. J. et al. Genetic and environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 1489-1496, 2002.

LIMA NETO, H. R. et al. Estimativa de parâmetros genéticos para características de carcaça avaliadas por ultra-sonografia em bovinos da raça guzerá. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.1, p.251-258, 2009.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. 1. ed. 2000. São Paulo. 134p.

MACNEIL, M. D. et al. Genetic evaluation of Angus cattle for carcass marbling using ultrasound and genomic indicators. **Journal of Animal Science**, v. 88, p.517-522, 2010.

MASCIOLI, A. S. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e proposição de critérios de seleção para pesos na raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.1, p.72-82, 1996.

MATEESCU, R. G. et al. Genetic parameters for sensory traits in longissimus muscle and their associations with tenderness, marbling score, and intramuscular fat in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 21–27, 2015

MEIRELLES, S.L. et al. Environmental effects and genetic parameters estimates for carcass traits in Canchim cattle raised on pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p.1437-1442, 2010.

MEYER, K. et al. Estimates of the complete genetic covariance matrix for traits in multi-trait genetic evaluation of Australian Hereford cattle. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 55, p. 195-210, 2004.

MINICK, J. A. et al. Heritability and correlation estimates of Warner-Bratzler shear force and carcass traits from Angus-, Charolais-, Hereford-, and Simmental-sired cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, n. 4, p. 599–609, dez. 2004.

MISZTAL, I. et al. (2015). **Manual for BLUPF90 Family of Programs**. Disponível em: <http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all2.pdf>. Acesso em: 5 out. 2017.

PEÑA, F. et al. Use of serial ultrasound measures in the study of growth- and breed-related changes of ultrasonic measurements and relationship with carcass measurements in lean cattle breeds. **Meat science**, v. 96, n. 1, p. 247–55, jan. 2014.

PEKINS, T. L. et al. Ultrasonic prediction of carcass merit in beef cattle: Evaluation of thencian effects on ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area. **Journal of Animal Science**. v.70, p.2758-2765, 1992.

PINTO, L. F. B. et al. Live weight, carcass ultrasound images, and visual scores in Angus cattle under feeding regimes in Brazil. **Tropical Animal Health and Production**, v. 45, p. 1281-1287, 2013.

PRIVANTO, R. et al. Prediction of carcass composition in heavy-weight grass-fed beef cattle. **Animal Production**. v. 57, n.1, p.65-72, 1993.

- REVERTER, A. et al. Genetic analyses of live-animal ultrasound and abattoir carcass traits in Australian Angus and Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 7, p. 1786–95, jul. 2000.
- RILEY, D. G. et al. Estimated genetic parameters for carcass traits of Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 4, p. 955–62, abr. 2002.
- ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics**, Arlington, v. 15, p.469-485, 1959.
- SAPP, R.L. et al. Effects of selection for ultrasound intramuscular fat percentage in Angus bulls on carcass traits of progeny. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2017-2022, 2002.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS online DOC® 9.1.3**, Cary, NC. 2004.
- THOMPSON, J. The relationship between marbling and sensory traits. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, p. 645–652, 2004.
- WILSON, D. E. et al. Genetic parameters for carcass traits estimated from Angus field records. **Journal of Animal Science**, v. 71, p. 2365–2370, 1993.
- YOKOO, M. J. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para altura do posterior, peso e circunferência escrotal em bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1761–1768, dez. 2007
- YOKOO, M. J. et al. Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 117, n. 2-3, p. 147–154, set. 2008.