

GEANDRO CARVALHO CASTRO

**MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA AVALIAÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

TERESINA - PI

2019

GEANDRO CARVALHO CASTRO

**MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA AVALIAÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal.

Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo

Teresina - PI

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

C355m Castro, Geandro Carvalho
Modelos de regressão aleatória para avaliação do crescimento
de caprinos da raça Anglonubiano. / Geandro Carvalho Castro
- 2019
47 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Pro-
grama de Pós-Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2019.
Orientação: Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo

1. *Capra hircus* 2. Correlação 3. Herdabilidade 4. Parâmetros
genéticos I. Título.

CDD 636.39

**MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA AVALIAÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA**

GEANDRO CARVALHO CASTRO

Dissertação aprovada em: 27/02/2019

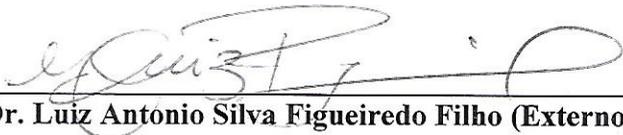
Banca Examinadora:



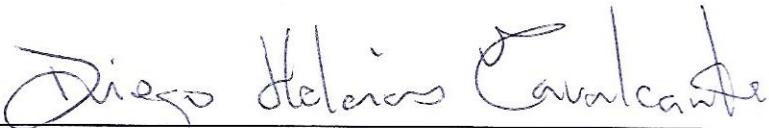
Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo (Presidente) / DZO/CCA/UFPI



Prof. Dr. José Lindenberg Rocha Sarmiento (Interno) / DZO/CCA/UFPI



Prof. Dr. Luiz Antonio Silva Figueiredo Filho (Externo) / IFMA



Prof. Dr. Diego Hélcias Cavalcante / (Interno) / CPCE/UFPI

“Desejo que você

Não tenha medo da vida, tenha medo de não vivê-la.

Não há céu sem tempestades, nem caminhos sem acidentes.

Só é digno do pódio quem usa as derrotas para alcançá-lo.

Só é digno da sabedoria quem usa as lágrimas para irrigá-la.

Os frágeis usam a força; os fortes, a inteligência.

Seja um sonhador, mas una seus sonhos com disciplina,

Pois sonhos sem disciplina produzem pessoas frustradas.

Seja um debatedor de ideias. Lute pelo que você ama.”

(Augusto Cury)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho as pessoas que mais amo:

Aos meus pais, Maria Goretti Vieira de Carvalho Castro e Gerson Sarmento de Castro, que sempre batalharam para proporcionar uma boa educação para seus filhos e por serem o meu maior exemplo de caráter e honestidade. Tudo que consegui até hoje como pessoa e profissional foi através dos seus esforços. A vocês o meu eterno Obrigado!!

Às minhas irmãs: Gessianne, Gelianne (*in memoriam*) e Maria Clara pelo amor, carinho e companheirismo em todos os momentos da minha vida. Gelianne sei que aí do céu você está feliz por cada conquista minha, você é minha motivação a seguir em busca dos meus sonhos. Gostaria que você soubesse que “... nada vai conseguir mudar o que ficou, quando penso em alguém, só penso em você e aí então estamos bem ...”, saudades eternas.

À minha tia Maria Elzair, que me acolheu na sua casa como um filho, pelo carinho e compreensão durante todos esses anos.

À Dona Alaíde, que sempre foi mãe e avó.

À minha namorada Aline Lira, pelo amor, incentivo e por estar sempre presente tornando meus dias mais alegres.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente pelo amor infinito, por me dar forças para concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais e a todos os meus familiares que sempre me apoiaram e incentivaram nessa jornada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro com a concessão de bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agrárias da UFPI, por proporcionar as condições necessárias para a realização do curso.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, em especial: ao meu orientador Prof. Dr. José Elivalto Guimarães Campelo pela ajuda, por cada ensinamento, atenção e paciência durante todo curso de graduação e mestrado; ao Prof. Dr. José Lindenberg Rocha Sarmiento pelas contribuições fundamentais para realização deste trabalho, disponibilidade e ensinamentos durante as disciplinas; ao Prof. Dr. Diego Helcias Cavalcante pela ajuda e ensinamentos a mim dispensados e no auxílio para a concretização desse trabalho.

Aos colegas de graduação e pós-graduação com quem convivi durante todos esses anos que contribuíram de forma direta e indireta: João Lopes, Emanuela Maria, Márcia Maria, Raimundo Neves, Renato Feitosa, Elivelton, Aline Gomes, Lilian Rosalina, Tâmara Rodrigues, Bruna, Francisca Luana, Laylson Borges, Amauri Felipe, em especial ao meu amigo Marcelo Richelly.

A todos vocês MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Perfil da caprinocultura e importância para o Nordeste	15
2.2 Curvas de crescimento e análise de medidas repetidas	16
2.3 Modelos de regressão aleatória	19
2.4 Polinômios de Legendre	21
2.5 Regressão aleatória no melhoramento de pequenos ruminantes	22
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
4 CAPÍTULO I: MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA	30
RESUMO	31
ABSTRACT	31
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	44
AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Efetivo caprino no Nordeste e Brasil.....	15
Tabela 2. Composição do arquivo de dados	35
Tabela 3. Modelos de regressão aleatória para avaliação da variância residual.....	39
Tabela 4. Resumo dos modelos estudados para modelagem da parte aleatória.	39
Tabela 5..estimativas de correlação genética aditiva direta (acima da diagonal) e genética materna (abaixo da diagonal), entre os pesos nas idades PN, P22, P56, P92, P130, obtidas pelo modelo 3333-1.....	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Número de registros (barras) e média de peso, em kg (linha), de animais da raça anglonubiana no intervalo de 1 a 130 dias de idade.38
- Figura 2. Estimativas de componentes de variâncias diretas (σ^2a) e maternas (σ^2m) (acima a esquerda), e de ambiente permanente direto (σ^2c), e materno (σ^2q) (acima a direita), variância fenotípica (abaixo ao centro) calculadas em função da idade, em caprinos anglonubianos, com modelos de regressão aleatória 3333 e variância residual homogênea.41
- Figura 3. Estimativas de variâncias e herdabilidades diretas (h^2) e maternas (m^2), e componentes de variância para ambiente permanente de animal (c^2) e materno (q^2) como proporção da variância fenotípica, em caprinos anglonubianos, com o modelo de regressão aleatória 3333 e variância residual homogênea.42

RESUMO

Conhecer as particularidades das fases do crescimento dos animais é importante para equacionar os interesses do produtor, sendo isso possível com a utilização de modelos de regressão aleatória na avaliação da curva de crescimento com informações de pesagens dos indivíduos. Objetivou-se com esta pesquisa comparar modelos de regressão aleatória para determinar o mais adequado para descrever mudanças nos parâmetros genéticos ao longo da curva de crescimento de caprinos. Ajustou-se modelos de regressão aleatória a pesos de caprinos da raça Anglonubiana manejado em sistema de criação extensiva em um rebanho experimental. Utilizou-se 6.593 dados de 796 animais mensurados até 130 dias de idade. Os efeitos genéticos e de ambiente permanente diretos e materno foram incluídos como aleatórios nos modelos; os grupos de contemporâneos foram admitidos como efeito fixo e a idade das mães como covariável. Na modelagem do resíduo considerou-se variância homogênea e também heterogêneas com cinco classes de idade. Com a estrutura mais adequada de variância residual, foram comparados modelos de regressão aleatória para modelagem dos efeitos aleatórios, utilizando-se os critérios de informação de Akaike (AIC), Akaike corrigido (AICC) e critério bayesiano de Schwarz (BIC). O modelo que considerou variâncias homogêneas com ordens 3, 3, 3, 3 para os efeitos genético aleatórios foi o mais adequado para a modelagem do crescimento dos animais. A herdabilidade direta (h^2) variou de 0,13 a 0,40 e a materna apresentou valores mais baixos. As correlações genéticas do peso entre idades mais próximas foram altas. Portanto, são evidências consistentes para seleção ser realizada na pré-desmama para reposição em sistema extensivo de criação.

Palavras-chave: *capra hircus*, correlações, herdabilidade, parâmetros genéticos

ABSTRACT

Knowing the particularities of the stages of the growth of the animals is important to equate the interests of the producer, being possible with the use of random regression models in the evaluation of the growth curve with information of weighing of the individuals. The objective of this research was to compare random regression models to determine the most appropriate to describe changes in genetic parameters along the growth curve of goats. Random regression models were fitted to weights of goats of the Anglonubian breed handled in an extensive breeding system in an experimental flock. We used 6,593 data from 796 animals measured up to 130 days of age. The genetic and direct permanent and maternal environment effects were included as random in the models; the groups of contemporaries were admitted as fixed effect and the age of the mothers as covariate. In the modeling of the residue was considered homogeneous variance and also heterogeneous with five age classes. With the most adequate structure of residual variance, random regression models for random effects modeling were compared using Akaike (AIC), Corrected Akaike (AICC) and Bayer Schwarz (BIC) criteria. The model that considered homogeneous variances with orders 3, 3, 3, 3 for the random genetic effects was the most suitable for modeling the growth of the animals. The direct heritability (h^2) varied from 0.13 to 0.40 and the maternal presented lower values. Genetic correlations of weight among the closest ages were high. Therefore, it is consistent evidence for selection to be performed in pre-weaning for replenishment in an extensive breeding system.

Keywords: *capra hircus*, correlations, heritability, genetic parameters

1 INTRODUÇÃO

A caprinocultura no cenário nacional é de grande importância econômico-social, contribuindo com uma variedade de produtos (carne, leite e seus derivados), principalmente na região Nordeste do país, onde há a maior concentração desses animais, nos quais o padrão fenotípico de tamanho é uma resposta a fatores genéticos e as condições do ambiente de criação.

Nessa região segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes ao ano de 2017, o rebanho caprino é de cerca de 8,9 milhões de cabeças, o que representa 93,2% do rebanho nacional, sendo a única região que apresentou crescimento positivo 5,0% no período entre 2008 e 2017.

Entretanto, apesar da caprinocultura apresentar grande potencialidade produtiva nessa região, tal atividade é praticada em um sistema extensivo, com baixo nível tecnológico e com pouca ou quase nenhuma adoção de práticas adequadas de alimentação, manejo e sanidade. Sendo a maioria dos rebanhos caracterizada por apresentar animais sem raça definida (SRD) e de pequeno porte com pouca informação sobre o crescimento dos mesmos.

Com isso ganha importância identificar o padrão básico de crescimento dos animais nesse ambiente de forma que a análise do tamanho corporal do animal, com o objetivo de caracterizar o padrão de crescimento e o tamanho adulto no sistema de criação prevalente, pode ser relevante na perspectiva de adequar o animal ao ambiente mediante modificação ou adequação do tamanho corporal.

O estudo do desenvolvimento ponderal, mediante a avaliação da curva de crescimento, possibilita descrever o crescimento do animal ao longo do tempo. A avaliação de características como o peso corporal, tamanho ou dias para atingir determinado peso têm sido largamente utilizadas como forma de determinação da curva de crescimento dos animais (BASTOS et al., 2017).

Neste sentido, dentre as características utilizadas para a avaliação do crescimento o peso tomado em diferentes idades da vida do animal, considerado medidas longitudinais, tem se destacado em programas de melhoramento genético animal auxiliando na seleção de animais de produção (LIMA et al., 2017). Este tipo de análise envolve a utilização de funções matemáticas, que geralmente descrevem curvas de crescimento, lactação ou produção, (LÁZARO et al., 2015).

Características ponderais como peso obtido durante a vida do animal podem ser analisadas sob diferentes aspectos metodológicos. Nos últimos anos tem-se proposto a utilização de modelos de regressão aleatória (MRA), inicialmente descritos por Henderson Junior (1982), como uma

alternativa na avaliação genética de dados longitudinais, pois oferecem uma estrutura atraente e conceitualmente simples, embora poderosa e com propriedades desejáveis para a modelagem desse tipo de dado em programas de melhoramento animal (MENEZES, 2010).

A aplicação de MRA é adequada para a análise genética de características de crescimento, e segundo Araújo et al. (2016) tal abordagem permitiu estimar e prever parâmetros e valores genéticos para qualquer idade desejada, mesmo para idades em que o animal não tenha sido mensurado. Além disso, com a utilização dos MRA é possível identificar as fases do crescimento do animal em que há maior variabilidade genética para provocar alterações na curva de crescimento dos animais (BALDI et al., 2010).

Nesta perspectiva, a escolha e utilização adequada de modelos de regressão aleatória que de fato descrevam a trajetória de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana pode auxiliar no processo de seleção de animais com maior potencial genético para características de crescimento, além de consistir em uma importante ferramenta para programas de melhoramento genético da raça.

Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa, comparar modelos de regressão aleatória, no intuito de determinar aquele mais adequado para descrever mudanças nos parâmetros genéticos ao longo da curva de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana para seleção em idades específicas.

Este trabalho foi redigido seguindo as normas para elaboração e apresentação de Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí – (PPGCA/UFPI) estabelecendo os seguintes itens: Capa / Folha de rosto / Ficha catalográfica / Termo de aprovação / Dedicatória e Agradecimentos / Lista de quadros e tabelas/ Lista de figuras/ Sumário / Resumo / Abstract / Introdução / Revisão bibliográfica / *Capítulo 1 / Referência bibliográfica.

*O Capítulo 1 referente ao artigo científico desta dissertação será submetido ao Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Perfil da caprinocultura e importância para o Nordeste

A caprinocultura é uma das práticas pecuárias mais antigas do Brasil, cuja origem remonta aos tempos da ocupação portuguesa. Acredita-se que a introdução da cabra doméstica (*Capra hircus*) no país tenha ocorrido em 1534, juntamente com os bovinos, quando Dona Ana Pimentel, esposa de Martim Afonso de Sousa, solicitou a importação destes últimos na Capitania de São Vicente (PIRES, 1990).

O rebanho caprino nacional está distribuído em todas as 5 grandes regiões geográficas do país. Segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), o rebanho efetivo nacional de caprinos alcançou 9.592.079 de cabeças, com destaque para a região Nordeste, que possui um efetivo de cerca de 8.944.461 de cabeças concentrando 93,2% do rebanho nacional.

A nível estadual, em 2017, a Bahia destacou-se com 30,9% do rebanho nacional, enquanto Pernambuco ocupa a segunda posição com 22,5%, e na sequência o Piauí e o Ceará, com 12,8% e 11,2%, respectivamente. O resultado dos dados levantados por estado da região Nordeste está apresentado no Tabela 1.

Tabela 1. Efetivo caprino no Nordeste e Brasil.

Estados da Região Nordeste e Brasil	Rebanho caprino (2017)	
	Quantidade de animais	(%)
Bahia	2.960.443	30,9
Pernambuco	2.157.149	22,5
Piauí	1.227.508	12,8
Ceará	1.075.850	11,2
Paraíba	613.919	6,4
Rio Grande do Norte	469.900	4,9
Maranhão	356.302	3,7
Alagoas	59.710	0,6
Sergipe	23.680	0,2
Brasil	9.592.079	-

Fonte: IBGE – Pesquisa da Agropecuária Municipal

Entre os fatores que contribuíram para o significativo crescimento da caprinocultura na região Nordeste, estão o importante papel socioeconômico da atividade, a capacidade de adaptação dos animais a diferentes regiões, a baixa necessidade de capital inicial, a possibilidade de acumulação de renda em pequena escala, a fácil apropriação sociocultural e a oferta de produtos com grande apelo em novos mercados (HOLANDA JÚNIOR; MARTINS, 2007).

Apesar das altas taxas de crescimento dos rebanhos caprinos e do grande potencial produtivo dessa atividade na região, o sistema de exploração desses animais, em sua maioria, é conduzido

de modo extensivo, com o uso de pouca ou nenhuma tecnologia refletindo em baixos índices zootécnicos.

Aliado a isso pode-se destacar os seguintes aspectos: baixa qualidade dos produtos; altos custos de transporte até os principais mercados locais; pouco associativismo entre os produtores locais; pouca sinergia entre os elos da cadeia (CAMPOS, 2004).

O estado do Piauí, como os demais do Nordeste, apresenta um significativo número de caprinos, com destaque para a raça Anglonubiana que já se encontram difundidos na região. (SILVA et al., 2011)

Pesquisas populacionais realizadas no estado evidenciaram que a raça tem grande participação na formação de alguns grupos raciais da região, contribuindo especialmente com os animais sem raça definida (SRD), segundo Costa (2010) e Castelo Branco, (2011).

Animais da raça Anglonubiana apresentam boa adaptabilidade a regiões de clima semiárido, visto que, a sua formação se deu a partir de cruzamentos entre caprinos ingleses e animais da raça Nubiana de origem africana (SILVA et al., 2006). Ela foi introduzida no Nordeste brasileiro a partir do século XIX, com o propósito de originar rebanhos de dupla aptidão, visto que, quando manejada em condições adequadas, trata-se de uma raça rústica, prolífera, com boa habilidade materna, bom desempenho produtivo e reprodutivo.

Entretanto, apesar da boa habilidade produtivo e reprodutiva demonstrado pela raça, um conjunto de fatores influenciam na expressão do potencial genético desses animais, que vão desde o baixo investimento em infraestrutura adequada até a adoção de programas de melhoramento genético sólidos.

Neste contexto, a criação de caprinos no Nordeste ainda tem um longo caminho a percorrer para conquistar um mercado consistente e com participação expressiva a nível nacional e internacional. Na busca por esse propósito, terá que atender os pré-requisitos de aumento de produtividade e da melhoria da qualidade de seus produtos. Tais objetivos podem ser alcançados com a adoção de práticas de manejo em vários aspectos como o controle alimentar, medidas sanitárias e melhoria genética.

2.2 Curvas de crescimento e análise de medidas repetidas

O crescimento animal pode ser considerado um evento complexo, visto que é condicionado por diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, como a ação hormonal e principalmente a alimentação, sendo descrito como o aumento no volume de massa tecidual nos animais (OLIVEIRA et al., 2017). Esse fenômeno biológico e de relevante importância na produção

animal, pois caracteriza-se como um processo de desenvolvimento corporal de alta eficiência econômica.

Uma forma prática e eficiente de se avaliar o desenvolvimento corporal de um animal é por meio do estudo da curva de crescimento. Esse termo, de acordo com Fernandes et al. (2012), refere-se a uma sequência de medidas de determinada característica de alguma espécie ou indivíduo em função do tempo.

Os primeiros trabalhos científicos que fazem menção ao estudo da curva de crescimento foram realizados pelo pesquisador John Hammond, além de integrantes da Escola de Cambridge, no ano de 1932, que resultaram na possibilidade de descrever esse fenômeno por meio de gráficos (MALHADO et al., 2009)

Dentre as características relacionadas ao crescimento animal e que são descritas por meio de curvas de crescimento, uma das mais comuns, que não altera o organismo sob análise e que pode ser mensurada a baixo custo, é o peso em determinadas idades. Segundo Albuquerque et al. (2007), as características de peso podem ser aferidas em grandes populações por um custo relativamente baixo. Características de maior interesse econômico, como peso e produção de leite, são mensuradas várias vezes com o intuito de analisar a evolução das mesmas no decorrer da vida do animal.

Dados obtido por múltiplas mensurações em um animal são considerados como dados longitudinais (BALDI et al., 2010). Esse tipo de característica pode ser explicado pela ação de diferentes genes se expressando em diferentes idades da vida do animal, com isso, ocorrem mudanças no desempenho e no padrão de crescimento dos animais ao longo do tempo (SCHAEFFER et al., 2010).

A análise de dados longitudinais pode ser conduzida de várias maneiras. Entretanto, Van Der Werf & Schaeffer (1997) ressaltam que este tipo de dados merece um tratamento estatístico especial, uma vez que o padrão de covariâncias entre medidas repetidas é bem estruturado, sendo necessário a modelagem dessa estrutura para que se possam fazer inferências.

Dentre as metodologias empregadas nesse tipo de análise, os modelos não lineares quando ajustados a características quantitativas de interesse econômico como peso e comprimento dos animais, no decorrer de um período, permitem resumir um número significativo de mensurações em poucos parâmetros biologicamente interpretáveis (SILVA et al., 2011). Espilogan et al. (2013), destacaram que os modelos não-lineares mais utilizados comumente na literatura são: Brody, Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy.

A aplicação desses modelos pode ser observada no estudo da curva de crescimento de diferentes espécies animais e vem sendo explorado por vários autores, como exemplo, tem-se os trabalhos de Veloso et al. (2016), que constataram que os modelos Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy são recomendados para descrever a curva de crescimento de frangos de corte.

Sarmento et al. (2006), trabalhando com ovinos da raça Santa Inês, constataram que o modelo de Gompertz foi o que apresentou o melhor ajuste médio superior para descrição da curva média de crescimento. Na caprinocultura destacam-se os trabalhos de Malhado et al. (2008) no qual verificaram que os modelos de Von Bertalanffy, Gompertz e logístico apresentaram os melhores ajustes para descrever o peso dos caprinos da raça Anglonubiana criados na caatinga.

Em suínos e bovinos, nos trabalhos de Luo et al. (2015) e Souza et al. (2010), respectivamente, foi verificado que o modelo logístico foi o mais adequado para descrever o crescimento desses animais. Como pode ser observado está demonstrado na literatura um amplo uso dessa metodologia em diversos tipos de características e espécies.

Entretanto, segundo Sarmento (2007) ao empregar esse método algumas limitações são observadas, como não ser considerado o parentesco entre os animais ao se estimar os parâmetros da curva individual, animais com um ou poucos registros são desconsiderados na análise, não considerar a correlação entre os erros de dados repetidos.

A forma mais simples de análise de dados longitudinais seria através da utilização de um modelo de repetibilidade, que consiste basicamente, em admitir que todas as informações mensuradas ao longo do tempo representam a mesma característica (SARMENTO, 2007). Assim, esse tipo de metodologia pressupõe que a correlação entre as medidas repetidas é igual a unidade, tal fato pode acarretar em erros, uma vez que, animais diferentes podem ser geneticamente superiores em uma determinada idade, mas não em outra.

Além dos modelos já citados a análise de medidas repetidas no tempo também podem ocorrer por meio de modelos animais em análises uni ou multicaracterísticas e de regressão aleatória. As análises unicaracterísticas por considerar apenas o estudo de uma característica isolada e fornecer pouca informação a respeito da população, vêm sendo substituída pelas análises bi e multicaracterísticas que apresentam como vantagens o aumento da variabilidade dos dados, além de permitir o estudo de associação e correlação entre as características estudadas (AMARAL et al., 2014).

Em contraste aos modelos de repetibilidade os modelos uni e multicaracterísticas assumem que cada medida mensurada em idades diferentes é considerada como característica distinta. Com esse tipo de modelo, as correlações são consideradas na análise e as covariâncias variam entre os

pesos em diferentes idades. Assim, por assumir diferentes correlações genéticas entre os registros, há uma elevação no número de parâmetros a serem estimados, dificultando a convergência do modelo, com alta demanda computacional (SARMENTO et al., 2010).

Com o avanço da computação e o surgimento de novos programas estatísticos, foram desenvolvidos métodos de avaliação do crescimento animal que oferecem melhor interpretação biológica e menor tempo para a análise dos dados (IWAISAKI et al., 2005; DIONELLO et al., 2008).

Nesta perspectiva, surgiram os modelos de regressão aleatória como uma alternativa para a análise de dados longitudinais. Esse modelo inicialmente proposto por Henderson Júnior (1982), tem se tornado padrão na avaliação da curva de crescimento dos animais por apresentar uma série de vantagens quando comparado com os métodos tradicionalmente utilizados.

2.3 Modelos de regressão aleatória

Os modelos de regressão aleatória (MRA) são casos especiais de funções de covariância que possibilita a estimação de forma direta dos coeficientes destas funções, adotando-se a metodologia da máxima verossimilhança restrita (REML) (MEYER & HILL, 1997). Essas funções apresentadas inicialmente por Kirkpatrick et al. (1990) permitem a descrição da mudança gradual das covariâncias em função do tempo e a predição de variâncias e covariâncias para pontos ao longo da curva de crescimento, mesmo existindo pouca informação entre os pontos (MEYER, 1998a, 1999).

As funções de covariância geralmente são modeladas por polinômios ortogonais, sendo principalmente usados os polinômios ortogonais de Legendre. Segundo Kirkpatrick et al. (1994), a utilização dessa família de polinômios na regressão aleatória, é explicada por serem normalizados e adequados para o ajuste de funções contínuas, tornando-se eficiente para o processo de convergência dos programas computacionais.

Segundo Pereira et al. (2010) as funções de covariâncias são funções contínuas, que provém covariâncias de características mensuradas em pontos distintos de uma trajetória como a curva de crescimento. Essas funções representam as variâncias e as covariâncias de características de dimensão infinita, ou seja, características que sofrem constantes mudanças no decorrer da vida dos indivíduos, como o peso dos animais.

Os primeiros trabalhos que fazem referência a teoria dos MRA foram realizados por Henderson Júnior em 1982, segundo o autor se, em um dado experimento os indivíduos são

tratados como efeitos aleatórios, logo os coeficientes de regressão associados a estes devem ser considerados como aleatórios.

Um modelo básico de regressão em notação matricial foi descrito por Meyer & Hill (1997):

$$y = Xb + Z_1\alpha + Z_2m + W_1p + e$$

em que, y é o vetor de observações, b é o vetor de efeitos fixos, α é o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos genético aditivo direto, m é o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos genético materno, p é o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos de ambiente permanente do animal, X, Z_1, Z_2, W_1 são as matrizes de incidência correspondentes; e é o vetor de resíduos.

Nos últimos anos com a evolução das ferramentas computacionais tem-se observado crescente uso de MRA para avaliação genética de características de importância econômica, principalmente na bovinocultura, se tornando padrão para a avaliação de dados longitudinais no melhoramento animal (PALHARM et al., 2013). A preferência por tal metodologia reside no fato da mesma suprir as deficiências dos métodos convencionais de análises genéticas quantitativas.

Ao se comparar os modelos utilizados tradicionalmente com os de regressão aleatória, esses últimos apresentam vantagens que possibilitam uma melhor modelagem dos dados estudados. Segundo Sousa Júnior et al. (2010), com os modelos de regressão aleatória, os coeficientes de regressão aleatória em função do tempo são obtidos para cada animal, ao invés do uso do modelo de repetibilidade para características únicas ou do modelo de característica múltipla.

Algumas diferenças podem ser citadas entre os modelos convencionais e os de regressão aleatória, como é destacado por Sarmiento (2007): inclusão de colunas de covariáveis na matriz de incidência dos efeitos aleatórios, em substituição às colunas de zero e um; predição de valores genéticos para qualquer ponto da curva crescimento e funções da curva.

Além disso para os MRA podem ser citadas algumas vantagens: possibilita a inclusão de animais com apenas um registro; leva em consideração o parentesco entre os animais; não há necessidade de padronização de idades; permite prever variâncias e covariâncias para pontos ao longo da curva de crescimento, mesmo existindo pouca informação entre os pontos; permitem obter estimativas para as variâncias de ambiente temporário ou erros de mensuração; possibilita estimar com maior acurácia os componentes de covariância genéticos e fenotípicos.

Muitas dessas vantagens podem ser confirmadas por trabalhos de vários autores como Sousa Júnior et al. (2014) que afirmam que esses modelos, quando utilizados no estudo de curvas de lactação de vacas leiteiras, permitiram estimar o valor genético de cada um dos animais avaliados em decorrência do tempo por meio da predição dos coeficientes de regressão,

Outros benefícios no emprego dos MRA são apontados por Boligon et al. (2010), ao afirmarem que esses modelos permitem a inclusão de registros de pesos que comumente seriam excluídos sem comprometer a avaliação da curva de crescimento do animal.

Ferreira et al. (2017), afirmam que os modelos de regressão aleatória foram eficientes para estimar, com grande acurácia, (co)variâncias e parâmetros genéticos, e Sousa Junior et al. (2010) no qual os autores verificaram que os modelos de regressão aleatória são adequados para descrever as mudanças nas variâncias dos pesos do nascimento aos 660 dias de idade dos animais.

Mota et al. (2013) ao comparar modelos multicaracterísticos tradicionais com modelos de regressão aleatória na estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos de bovinos da raça Simental, concluíram que os últimos são recomendados para avaliação genética da raça. Entretanto, Nobre et al. (2003) analisaram a curva de crescimento de da raça Nelore aos (683 dias de idade ao nascimento), empregando modelos multicaracterísticas e modelos de regressão aleatória, observaram que os modelos de regressão aleatória foram mais sensíveis a problemas amostrais comparados com os modelos multicaracterísticas.

No caso de caprinos, poucos estudos têm utilizado modelos de regressão aleatória na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos. Entre os trabalhos que empregam essa metodologia, Kheirabadi & Rashidi (2016), afirmaram que os modelos de regressão aleatória são adequados para modelar o crescimento de caprinos da raça Raini e que estimativas de componentes de variância foram obtidos pra idades específicas indicando que seleção para alterar o padrão de crescimento da cabra Markhoz é viável.

A utilização de modelos de regressão aleatória tem-se dado, em sua maioria, empregando o polinômio ortogonal de Legendre, pois são mais recomendados para análises com dados longitudinais. Entretanto, a utilização destes modelos irá aumentar o número de parâmetros a serem estimados e os requerimentos computacionais (SOUSA JÚNIOR et al., 2010).

2.4 Polinômios de Legendre

O uso das funções de covariância requer a adoção de polinômios para o seu ajuste. Assim, uma família de polinômios adequados para esse ajuste são os chamados polinômios ortogonais de Legendre. Esses polinômios têm sido utilizados com o intuito de estimar funções de covariância em estudos de crescimento de diversas espécies animais e segundo Nehls (2013), o uso desses polinômios é explicado pelo fato de serem normalizados e ortogonais mais adequados para ajustar funções contínuas tornando eficaz o processo de convergência das análises dos dados em estudo.

Outra vantagem no uso desses polinômios consiste no fato de não requererem pressuposição sobre a forma da curva, apresentando vantagens computacionais (ALBUQUERQUE, 2004); além

disso as matrizes desses polinômios apresentam colunas, que são mutuamente ortogonais, evitando assim a presença de matrizes singulares, comum em outros tipos de polinômios (BALDI et al., 2010)

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos por meio de regressão aleatória, utilizando os polinômios de Legendre em melhoramento animal (TEIXEIRA et al., 2013; CONTI et al., 2014; SOUSA JÚNIOR et al., 2014). Nos modelos os polinômios de Legendre podem apresentar diferentes ordens, sendo comparados para ajustar os efeitos aleatórios e para a obtenção de funções de covariância (TORAL et al., 2014).

Entretanto, quanto a ordem dos polinômios a ser utilizada Meyer (2007), ressalta que, esses polinômios podem apresentar alta ordem de ajuste e conseqüentemente estimação de maior número de parâmetros, exigindo maior exigência computacional. Segundo Sarmiento et al., (2010) polinômios ajustados em alto grau apresentam comportamento irregular, podendo resultar em problemas de convergência e em estimativas irreais do parâmetro genético.

Segundo Bertipaglia (2013) algumas desvantagens quanto ao uso de polinômios ortogonais de Legendre na avaliação do crescimento animal podem ser citadas, como: inconsistências nas variâncias e covariâncias em idades limites, pelo fato da maior relevância que esses polinômios aplicam em observações concentradas nos extremos da curva.

Em suma, quanto às ordens de ajuste de polinômios ortogonais de Legendre, alguns trabalhos comprovaram (SOUSA, 2016) que ao considerar ordens elevadas de ajuste, isso aumenta a flexibilidade da curva de avaliação do crescimento, no entanto também aumentam o requerimento computacional, a dificuldade de convergência dos dados e os problemas nas amostras.

2.5 Regressão aleatória no melhoramento de pequenos ruminantes

A avaliação genética de características de produção de pequenos ruminantes através da adoção de modelos de regressão aleatória, particularmente caprinos e ovinos, é abordada em estudos de diversos autores com diferentes raças e sistemas de criação distintos.

Neste contexto, Sarmiento et al., (2010) comparando modelos de regressão aleatória com diferentes estruturas para modelar a variância residual em estudo genético da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês, verificaram que o polinômio ordinário de ordem 6 apresentou o melhor ajuste entre as estruturas estudadas e que a magnitude dos valores genéticos preditos apresenta variações significativas, de acordo com o ajuste da variância residual empregado.

Oliveira, Lobo e Faco (2010) em estudos com a mesma raça, observaram que a variabilidade genética observada é capaz de alterar a trajetória de crescimento por meio de seleção e que os

fatores genéticos que atuam nas fases iniciais não são os mesmos em idades mais tardias. Ressaltam ainda que a seleção de animais para a reposição no rebanho deve ser diferente da seleção de para abate de animais em idades jovem.

No Brasil, há referências na literatura de estudos que empregaram regressão aleatória para avaliar características sanitárias e de produção, como a resistência a endoparasitas, curvas de crescimento e curva média de lactação em caprinos. Breda et al. (2006) trabalhando com a raça Parda Alpina, concluíram que polinômio de Legendre de ordem quártica, assumindo variância residual heterogênea, mostrou-se mais adequado para ajustar a produção de leite no dia do controle.

Trabalhando com a mesma raça, Assis et al. (2006) indicaram que a predição de ganhos genéticos e a seleção de animais geneticamente superiores é viável ao longo de toda a trajetória da lactação, sendo modelados adequadamente por meio de regressão aleatória.

Oliveira (2016), comparando modelos de repetibilidade e de regressão aleatória (MRA) na avaliação genética de características de resistência ao *Haemonchus contortus* em caprinos crioulos, destacou que o MRA foi considerado o melhor modelo para representar a curva de resistência desses animais nos dois desafios em estudo.

No que se refere a características de crescimento destacam-se os trabalhos de Sousa et al., (2008, 2010), Esses autores, utilizando regressão aleatória, empregaram polinômios ortogonais para representar a curva média de crescimento e compararam modelos de regressão aleatória com diferentes estruturas de variâncias residuais (homogeneidade e heterogeneidade), na estimação dos componentes de covariância e parâmetros genéticos de características de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, L. G.; MERCADANTE, M. E. Z.; ELER, J. P. Aspectos da seleção de *Bos indicus* para produção de carne. *Boletim da Indústria Animal*, v.64, n.4, p.339-348, 2007.
- ALBUQUERQUE, L.G. Regressão aleatória: nova tecnologia pode melhorar a
AMARAL, R. S. et al. Tendências, parâmetros fenotípicos e genéticos de características de crescimento em bovinos Nelore mocho do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n.2, p. 261-271, 2014.
- ARAÚJO, C.V. et al. Modelos de regressão aleatória para características de crescimento de bovinos da raça Nelore do estado de Mato Grosso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.68, p.448-456, 2016.
- ASSIS, Giselle Mariano Lessa de et al. Estimação de parâmetros genéticos em caprinos leiteiros por meio de análise de regressão aleatória utilizando-se a Amostragem de Gibbs. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 706-714, June 2006.
- BALDI, F.; ALENCAR, M.M.; ALBUQUERQUE, L.G. Random regression analyses using B-splines functions to model growth from birth to adult age in Canchim cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Cambridge, v.127, n.6, p.433-441, 2010.
- BERTIPAGLIA, T.S. **Estimativas de parâmetros genéticos para pesos do nascimento aos dois anos de idade para bovinos da raça Brahman utilizando modelos de regressão aleatória**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013. Jaboticabal, SP 2013.
- BOLIGON, A.A. et al. Covariance functions for body weight from birth to maturity in Nelore cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.88, n.3, p.849-859, 2010.
- BREDA, F.C.; ALBUQUERQUE, L.G.; YAMAKI, M. et al. Estimação de parâmetros genéticos para produção de leite de cabras da raça Alpina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.396-404, 2006.
- CAMPOS, K. C. **Arranjos produtivos locais: O caso da caprino-ovinocultura nos municípios de Quixadá e Quixeramobim**. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- CASTELO BRANCO, J. F. B. **Caracterização fenotípica, sistema de produção, distribuição geográfica e aceitação do caprino Nambi no estado do Piauí**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2011.
- COBUCCI, J.A. et al. Utilização dos polinômios de Legendre e da função de Wilmink em avaliações genéticas para persistência na lactação de animais da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.58, p.614-623, 2006.
- CONTI, A. C. M. et al. Genetic Parameters for weight gain and body measurements for *Nile tilapia* by Random Regression Modeling. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 2843-2858, 2014.

COSTA, M. S. **Inventário e caracterização de caprinos do grupo naturalizado Gurguéia e sua relação com os principais grupos genéticos do Semiárido do Estado do Piauí**. 2010. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2010.

de rebanho, 2008 a 2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: 01 out. 2018.

DIONELLO, N. J. L. et al. Estimativas da trajetória genética do crescimento de codornas de corte utilizando modelos de regressão aleatória. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.60, n.2, p.454-460, 2008.

ESPILOGAN, R. et al. Aplicação de modelos não-lineares para descrever a evolução de características de crescimento em bovinos da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.513-519, 2013.

FERNANDES, T.L.; PEREIRA, A.A. E MUNIZ, J.A. Comparação de modelos não-lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, São Paulo, v. 2, p. 2375-2387, 2012.

FERREIRA, J.L. et al. Modelos de regressão aleatória para característica de crescimento em bovinos da raça Guzerá. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.18, 2017. Disponível em: Acesso em: 4 jun. 2017.

FREITAS, A. R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, p.786- 795, 2005.

FUJII, C.; SUZUKI, M. Comparison of homogeneity and heterogeneity of residual variance using random regression test-day models for first lactation Japanese Holstein cows. **Animal Science Journal**, v.77, p.28-32, 2006

HENDERSON JR., C.R. Analysis of covariance in the mixed model: higher level, non homogeneous, and random regressions. **Biometrics**, Washington, v.38, p.623-640, 1982.

HOLANDA JÚNIOR, V.; MARTINS, E. C. Análise da produção e do mercado de produtos caprinos e ovinos: o caso do território do sertão do Pajeú em Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7, 2007, Fortaleza. **Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social: anais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 15 f.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Pecuária Municipal 2017. **Tabela 3939: efetivo dos rebanhos, por tipo**

IWAISAKI, H. et al. Genetic parameters estimated with multitrait and linear spline-random regression models using Gelbvieh early growth data. **Journal of Animal Science**, v.83, n.4, p.757-763, 2005.

IWAISAKI, H. et al. Genetic parameters estimated with multitrait and linear spline-random regression models using Gelbvieh early growth data. **Journal of Animal Science**, v.83, n.4, p.757-763, 2005.

- KHEIRABADI, KHABAT & RASHIDI, AMIR. (2016). **Genetic description of growth traits in Markhoz goat using random regression models**. *Small Ruminant Research*. 144. 10.1016/j.smallrumres.2016.10.003.
- KIRKPATRICK, M., LOFSVOLD, D., BULMER, M. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics*, v.124, p.979-993, 1990.
- LÁZARO, S. F. et al. Avaliação genética do tamanho de leitegada em suínos das raças Landrace e Large White. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. Belo Horizonte, v.67, n.1, p.274-282, 2015.
- Lima, M. V. et al. Modelos de regressão aleatória através do peso corporal em curvas de crescimento de aves. *Colloquium agrariae*. 13. 339-347. 10.5747/ca.2017.v13.nesp.000238.
- LUO, J. et al. Estimation of growth curves and suitable slaughter weight of the Liangshan pig. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 28, p. 1252-1258, 2015.
- LUPI, T. et al. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal*, v. 9, n. 8, p. 1341-1348, 2015.
- MALHADO, C. H. M. et al. Modelos não lineares utilizados para descrever o crescimento de bovinos da raça Nelore no Estado da Bahia: 1. Efeito ambiental. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.10, n.4, p.821-829, 2009.
- MALHADO, C.H.M. et al. Curvas de crescimento para caprinos da raça anglo-nubiana criados na caatinga: rebanho de elite e comercial. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, v.9, n.4, p.667-671, 2008.
- MENEZES, G.R.O. **Uso de polinômios segmentados na modelagem de dados longitudinais de ponderal em bovinos da raça Tabapuã**. Viçosa, UFV, 2010. 99p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- MEYER, K. Estimates of genetics and phenotypic covariance functions for post weaning growth and mature weight of beef cows. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v.116, p.181-203, 1999.
- MEYER, K. Estimating covariances functions for longitudinal data using a random regression model. *Genetics Selection Evolution*, v.30, p.221-240, 1998a.
- MEYER, K. WOMBAT – A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by REML, *Journal Zhejiang University Science b*, v.8,p.815-821, 2007.
- MEYER, K.; HILL, W. G. Estimation of genetic and phenotypic covariance functions for longitudinal or "repeated" records by restricted maximum likelihood. *Livestock Production Science*, v. 47, p. 185-200, 1997.
- MOTA, R. R. et al. Genetic evaluation using multitrait and random regression models in Simmental beef cattle. *Genetics and Molecular Research*. v.12, p. 2465-2480, 2013.

NEHLS, W.F. **Variabilidade genética do desenvolvimento ponderal em bovinos da raça Nelore no Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Sinop, 2013. Sinop, MT, 2013.

NOBRE, P. R. C. et al. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 918-926, 2003.

OLIVEIRA, J. A. **Análise genética de características de resistência ao Haemonchus contortus em caprinos Crioulos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

OLIVEIRA, Kassiana Adriano Pinto de; LOBO, Raimundo Nonato Braga; FACO, Olivardo. Avaliação genética da trajetória de crescimento parcial da raça Santa Inês utilizando modelos de regressão aleatória. **R. Bras. Zootec.** Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1029-1036, maio de 2010.

OLIVEIRA, MR et al. Avaliação do peso de bovinos Tabapuã criados no nordeste do Brasil utilizando modelos de regressão aleatória. *Arq. Bras. Med. Veterinario. Zootec.* Belo Horizonte, v. 69, n. 2, p. 457-464, abril de 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352017000200457&lng=en&nrm=iso>. acesso em 29 de abril de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9070>.

PALHARM, D. A., et al. Estimativas de herdabilidade para o desempenho de ponderal na raça Nelore no Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 59-62, 2013

PELICIONI, L. C.; ALBUQUERQUE, L. G.; QUEIROZ, S. A. Estimação de componentes de co-variância para pesos corporais do nascimento aos 365 dias de idade de bovinos Guzerá empregando-se modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.50-60, 2009.

PEREIRA, R. J. et al. Funções de covariância para produção de leite no dia do controle em bovinos Gir leiteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.11, p.1303-1311, 2010.

PIRES, M. I. C. **Guerra dos Bárbaros: Resistência Indígena e conflitos no Nordeste Colonial**. Recife: FADURPE, 146p. 1990.

qualidade das avaliações genéticas. In: SIMPOSIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL, 5., 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: SBMA, 2004.

RESENDE, M.D.V. et al. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, n.19, p. 21-40, 2001.

SANTORO, K. R. et al. Uso de funções de covariância na descrição do crescimento de bovinos Nelore criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.2290-2297, 2005. Suplemento.

- SARMENTO, J. L. R. **Modelos de regressão aleatória para avaliação genética da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês**. Viçosa, UFV, 2007. 101p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- SARMENTO, J.L.R. et al. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n. 2, p.435-442, 2006.
- SARMENTO, J.L.R. et al. Modelos de regressão aleatória na avaliação genética do crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.1723-1732, 2010.
- SILVA, E. M. N. et al. Evaluation of the adaptability of goats exotic and native of the semi-arid of Paraíba. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p.516-521, 2006.
- SILVA, F. L. et al. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.262-271, 2011.
- SILVA, R.A.B. et al. Caracterização zoonosológica da ovinocultura e da caprinocultura na microrregião homogênea de Teresina, Piauí, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.78, n.4, p.593- 598, 2011.
- SOUSA JÚNIOR, S. C. et al. Aplicação de modelos de regressão aleatória utilizando diferentes estruturas de dados. **Revista Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2058-2063, 2014.
- SOUSA JÚNIOR, S. C. et al. Estimação de funções de covariância para características de crescimento da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.5, p.1037-1045, 2010.
- SOUSA, J. E. R. et al. Estimativas de componentes de covariância e parâmetros genéticos de pesos corporais em caprinos AngloNubiano, Revista. **Brasileira Ciência Agrária**. v.4, n.2, p.211-216, 2009.
- SOUSA, J.E.R. et al . Avaliação da trajetória média de crescimento de caprinos em modelos de regressão aleatória. **Arch. zootec.**, Córdoba , v. 59, n. 226, p. 267-276, jun. 2010 .
- SOUSA, J.E.R. et al. Homogeneidade e heterogeneidade de variância residual em modelos de regressão aleatória sobre o crescimento de caprinos Anglo-Nubianos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1725-1732, 2008.
- SOUSA, R. P. R. **Estimativas de parâmetros genéticos para produção de carne em bovinos da raça tabapuã por modelos de dimensão finita e infinita**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Bom Jesus, PI. Bom Jesus, 2016.
- SOUZA, L.A. et al. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no estado de Sergipe. **Revista Ciênc Agron**, Fortaleza, v. 41, p.671-676, 2010.
- TEIXEIRA, B. B. et al. Modelos de regressão aleatória na seleção de codornas de corte para produção de ovos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 48, Brasília, 2013.

TELEKEN, J.T., GALVÃO, A.C., ROBAZZA, W.S. Comparando modelos matemáticos não lineares para descrever o crescimento de diferentes animais. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 39, n. 1, p. 73-81, 2017.

TORAL, F.L.B. et al. Parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.8, p.595-603, 2014.

VAN DER WERF, J., SCHAEFFER, L. R. **Random regression in Animal Breeding**. Course Notes, Ontario, University of Guelph, 1997, 70p.

VELOSO, R.C. et al. Seleção e classificação multivariada de modelos não lineares para frangos de corte. **Arq. Bras. Med Vet Zootec**, Belo Horizonte, v. 68, p. 191-200, 2016.

4 CAPITULO I

MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA AVALIAÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CAPRINOS DA RAÇA ANGLONUBIANA

31 homogeneous variance to adjust the random effects. Consanguinity in the herd was low
32 (0.8%). Estimates of variances of the four random effects grew according to linearly
33 increasing age. The direct heritability (h^2) varied from 0.13 to 0.40 in the same direction
34 and the maternal presented low value. Genetic correlations of weight among the closest
35 ages were high. Therefore, it is consistent evidence for selection to be performed in pre-
36 weaning for replenishment in an extensive breeding system.

37 **Keywords:** *capra hircus*, correlations, heritability, genetic parameters
38

39 INTRODUÇÃO

40 Os caprinos apresentam ampla capacidade de adaptação a condições ambientais
41 adversas que possibilita sua exploração em regiões com grande diversidade de clima.
42 Como exemplo tem-se o Nordeste do Brasil onde desempenham importante papel
43 socioeconômico, embora sejam criados em sistemas extensivos com animais de pequeno
44 porte, que é um padrão de crescimento adquirido em função de fatores genéticos,
45 ambientais e do tipo de sistema de criação adotado.

46 Isto posto, segundo dados do IBGE (2017) a região apresentou crescimento de 5,0%
47 no período de 2008 a 2017 e foi a responsável pelo aumento do rebanho caprino brasileiro
48 nesse período. Entretanto, esse crescimento não foi acompanhado por melhorias
49 significativas no manejo geral dos rebanhos, que em sua maioria, apresentam índices
50 zootécnicos insatisfatórios em decorrência de práticas inadequadas de alimentação,
51 manejo e sanidade, aliados a baixos investimentos em infraestrutura e tecnologia.

52 Esses fatores, em conjunto ou individualmente, tendem a interferir na eficiência
53 produtiva de caprinos e na identificação de animais geneticamente superiores. Por
54 exemplo, caso exista variação genética na sensibilidade dos caprinos a verminose, se
55 forem criados em sistema extensivo, pode ocorrer alternância de ganho e perda de peso
56 de forma diferenciada durante a fase de crescimento, mesmo em animais
57 contemporâneos. Adiciona-se a isso diferenças no padrão de crescimento de machos e
58 fêmeas.

59 Para equacionar os interesses do produtor é importante identificar as
60 particularidades de cada fase do crescimento dos animais. Assim, torna-se importante a
61 busca por tecnologias para melhorar o manejo geral dos rebanhos, dentre elas a realização

62 de avaliações genéticas, que é o meio eficiente para auxiliar o processo seletivo no
63 rebanho (Sarmiento, 2007).

64 Nesta perspectiva, buscar conhecer o padrão da curva de crescimento dos animais,
65 frequentemente avaliado por pesagens sequenciais ao longo do tempo, tem se tornado
66 alvo de estudos em programas de melhoramento genético, para inclui-los em sistemas de
67 produção mais eficientes. Dentre as pesquisas que têm sido realizadas utilizando essa
68 abordagem em diferentes espécies de animais de interesse zootécnico, os modelos de
69 regressão aleatória se apresentam como uma opção a mais para se adicionar a metodologia
70 tradicional de avaliação de pesos em idades padrão (ano e sobreano) e de modelos não
71 lineares.

72 Esses modelos se adequam a análise genética do crescimento, não dependendo da
73 padronização do peso, e ao incluir todos os registros disponíveis, torna possível a
74 obtenção de parâmetros genéticos para todas as idades consideradas (Passafaro et al.,
75 2016).

76 Desta forma, objetivou-se com o estudo comparar modelos de regressão aleatória,
77 no intuito de determinar aquele mais adequado para descrever mudanças nos parâmetros
78 genéticos ao longo da curva de crescimento de caprinos da raça Anglonubiana.

79

80 MATERIAL E MÉTODOS

81 Esta pesquisa foi cadastrada no Comitê de Ética da Universidade Federal do Piauí
82 UFPI e realizada com base nas normas aprovadas pela Comissão de Ética e
83 Experimentação Animal dessa Instituição de Ensino Superior.

84 A pesquisa foi realizada utilizando-se informações de peso-idade de caprinos da
85 raça Anglonubiana. Os animais pertencem ao rebanho experimental da Universidade
86 Federal do Piauí localizado em Teresina – Piauí (coordenadas geográficas 5° 5' 20" de
87 Latitude sul e 5° 5' 20" Longitude 42°48' 07" oeste) que foram manejados para geração
88 de dados destinados a análises genéticas.

89 Os animais foram manejados em sistema de criação semi-intensivo, com as crias
90 acompanhando as mães ao pasto quando completaram 30 dias de idade em área formada
91 por vegetação nativa consorciada com gramíneas cultivadas, prevalecendo o *Andropogon*
92 (*Andropogon gayanus*), Tanzânia (*Panicum maximum*) para pisoteio, além de capim-

93 elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) usado como volumoso e Tifton (*Cynodon spp*)
94 sob forma de feno.

95 A complementação alimentar ocorreu na lactação e em períodos de estiagem, com
96 a utilização, em média, de 300g/animal de ração comercial (16% de proteína bruta). Sal
97 mineral e água foram disponibilizados no aprisco, para onde os animais eram recolhidas
98 no final do dia. O controle sanitário consistiu na aplicação de anti-helmíntico quando 10%
99 das cabras apresentaram valor superior a 1000 ovos por grama de fezes (OPG), como
100 sugerido por Costa et al. (2011) e rotação de princípio ativo a cada dois anos.

101 No manejo reprodutivo iniciado em 2001 as cabras foram colocadas em dois grupos
102 de acasalamentos. As fêmeas que estavam em lactação formaram o grupo 1 e as demais
103 o grupo 2. Na continuação do manejo os animais desse grupo foram submetidos a um
104 período de monta controlada na época chuvosa do ano, enquanto as do grupo 1 ocorreu
105 na época seca, expostas a pelo menos dois reprodutores registrados. Com essa estratégia
106 a ocorrência de acasalamentos em um grupo coincidiu com o período de lactação no outro
107 nos anos seguintes, garantindo assim animais contemporâneos em relação a estágios
108 fisiológicos dentro de cada época do ano (seca e chuvosa).

109 Do banco de dados do rebanho referente ao período de 2001 a 2018, editou-se
110 arquivo de trabalho com a estrutura de dados que continha uma matriz de parentesco com
111 796 animais e 6593 registros de pesos coletados em machos e fêmeas com idade até 130
112 dias. Para melhor estruturação dos dados foram criadas classes de pesos formadas com
113 pesagens nos intervalos de sete dias, totalizando 19 classes de pesos. O arquivo final
114 apresentasse animais com informação de produção e parentesco constando como
115 informação mínima o registro de pai e mãe.

116 Nas análises, foram considerados fixos os efeitos de grupo de contemporâneo e a
117 idade da cabra ao parto foi considerada como covariável (linear e quadrática) variando de
118 10 a 111 meses. O sexo, tipo de nascimento, ano de nascimento e das pesagens, estação
119 de nascimento e das pesagens foram agrupados gerando 195 grupos de contemporâneos
120 (GC). Ocorreu a exclusão de registro de pesos com valores fora do intervalo ± 3 desvios-
121 padrão em relação a média do GC, além da retirada de indivíduos com menos de três
122 registros de peso e/ou grupos de contemporâneos com menos de três animais do arquivo
123 de dados.

124 A preparação, formatação e descrição dos dados foram realizadas com o auxílio do
 125 software estatístico SAS® (Statistical Analyses System 9.0) (SAS, 2003), após as análises
 126 de consistência das informações e restrições realizadas, o arquivo final apresenta a
 127 composição apresentada na Tab.2.

128 Tabela 2. Composição do arquivo de dados

Dados analisados	Número
Total de registros	6593
Animais na matriz de parentesco	796
Animais com registros	641
Animais com 03 registros	57
Animais com 04 registros	62
Animais com 05 registros	14
Animais com 06 registros	16
Animais com 07-10 registros	82
Animais com 11-20 registros	410
Reprodutores	29
Matrizes	225
Coeficiente médio de endogamia	0,85(%)
Animais endogâmicos	27
Grupos contemporâneos	195

129
 130 Na etapa inicial das análises fez-se a modelagem do resíduo, considerando-o com
 131 variância homogênea e modelo de regressão aleatória com polinômios de Legendre com
 132 grau cúbico, para ajustar a trajetória de crescimento médio fixo, e mantendo a parte
 133 aleatória da regressão (efeitos genéticos e ambientais) com ordem de ajuste quadrática,
 134 com o intuito de encontrar o melhor modelo.

135 As classes de variância residual foram compostas variando de uma (homogênea)
 136 até 5 (heterogêneas), dispostas da seguinte forma: CL1, para homogênea; CL2, 1-1 e 2-
 137 130; CL3, 1-1, 2-43 e 44-130; CL4, 1-1, 2-43, 44-75 e 76-130; CL5, 1-1, 2-43, 44-75, 76-
 138 106 e 107-130 dias de idade (CLn, sendo “n” o número de classes). Na formação das
 139 classes seguiu-se como critérios os períodos que englobam eventos importantes durante
 140 o período avaliado (pico de lactação da mãe, acesso a volumoso com consequente
 141 exposição a verminose, início da ruminação e pré-desmame).

142 De posse do modelo que considerou a estrutura de variância residual mais
 143 adequada, realizou-se a modelagem da parte aleatória com diferentes ordens para
 144 identificar a que proporcionou melhor ajuste para os efeitos aditivo e ambientais
 145 permanentes do animal e materno. A definição da ordem dos polinômios de Legendre
 146 para esses efeitos teve como regra visualizar alterações ocorridas nos componentes de
 147 variância estimados e parâmetros genéticos resultantes no decorrer das análises, variando
 148 de 3 a 5.

149 O modelo de regressão aleatória geral pode ser dado por:

$$\begin{aligned}
 150 \quad y_{ij} = F + \sum_{m=1}^{k_b-1} b_m \varphi_m(t_i) + \sum_{m=1}^{k_A-1} \alpha_{jm} \varphi_m(t_{ij}) + \sum_{m=1}^{k_M-1} \gamma_{jm} \varphi_m(t_{ij}) \\
 151 \quad + \sum_{m=1}^{k_C-1} \delta_{jm} \varphi_m(t_{ij}) + \sum_{m=1}^{k_Q-1} \rho_{jm} \varphi_m(t_{ij}) + \varepsilon_{ij}
 \end{aligned}$$

152 em que: y_{ij} = $i^{\text{ésima}}$ medida referente ao $j^{\text{ésimo}}$ animal; F = conjunto de efeitos fixos;
 153 b_m = coeficiente de regressão fixo para modelar a curva média da população; $\varphi_m(t_i)$ =
 154 função de regressão que descreve a curva média da população de acordo com a idade do
 155 animal; $\varphi_m(t_{ij})$ = funções de regressão que descrevem as trajetórias de cada indivíduo j ,
 156 de acordo com a idade (t_i), para os efeitos aleatórios genético aditivo direto, aditivo
 157 materno, ambiente permanente direto e materno; α_{jm} , γ_{jm} , δ_{jm} , ρ_{jm} = coeficientes de
 158 regressão genético aditivo direto e materno, de ambiente permanente direto e materno,
 159 respectivamente, para cada animal; k_b , k_a , k_m , k_c e k_q = ordem dos polinômios a serem
 160 ajustados; ε_{ij} = erro aleatório associado a cada idade i do animal j .

161 Na forma matricial o referido modelo é descrito como se segue:

$$162 \quad Y = X\beta + Z_1\alpha + Z_2\gamma + W_1\delta + W_2\lambda + \varepsilon$$

$$163 \quad V \begin{bmatrix} \alpha \\ \gamma \\ \delta \\ \lambda \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_A \otimes A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_M \otimes A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_C \otimes I_{N_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_Q \otimes I_{N_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix};$$

164 em que: Y = vetor de observações; β = vetor de efeitos fixos; α = vetor aleatório
 165 dos coeficientes genéticos aditivos diretos; γ = vetor aleatório dos coeficientes genéticos
 166 aditivos maternos; δ = vetor de coeficientes de ambiente permanente direto; λ = vetor de

167 coeficiente de ambiente permanente materno; X, Z_1, Z_2, W_1, W_2 = matrizes de incidência
 168 correspondentes; K_A, K_M, K_C e K_Q = matrizes de variâncias e covariâncias entre os
 169 coeficientes de regressão aleatórios para os efeitos genéticos aditivos direto e materno e
 170 de ambiente permanente direto e materno, respectivamente; A = matriz de parentesco; I
 171 = matriz identidade; N_a e N_m = número de animais com dados e número de mães,
 172 respectivamente; R = matriz de variâncias residuais; ε = vetor de resíduos.

173 A estimação dos componentes de (co) variância e parâmetros genéticos foi realizada
 174 pelo método da máxima verossimilhança restrita, usando o algoritmo EM, obtido pelo
 175 Software Wombat (Meyer, 2018), considerando como critério de convergência (10^{-8}).

176 Para a comparação dos modelos quanto a precisão das predições, foram utilizados
 177 o logaritmo da função de máxima verossimilhança Log L e os critérios de informações
 178 de Akaike (AIC), Bayesiana de Schwarz (BIC), Akaike corrigido (AICc), de acordo com
 179 Bozdogan (1987), disponibilizado pelo software Wombat. A representação dos critérios
 180 de informação citados está apresentada abaixo:

181
$$AIC = -2 \log L + 2p$$

182
$$BIC = -2 \log L + p \log (N - r(X)),$$

183
$$AICc = -2 \log l(\theta) + 2(p) + 2 \frac{p(p+1)}{n-p-1}$$

184 Sendo que:

185 p = representa o número de parâmetros do modelo;

186 N = o total de observações;

187 r = o posto da matriz X (matriz de incidência para os efeitos fixos).

188

189 RESULTADOS E DISCUSSÃO

190 O número de observações e as médias de peso nas diferentes idades são
 191 apresentados na (Fig.1), que corresponde ao período lactante dos animais. As médias de
 192 peso aumentaram quase que linearmente do nascimento aos 130 dias de idade, variando
 193 de 3,01 ao nascimento a 15,92 kg aos 120 dias de idade, após aplicadas as restrições.

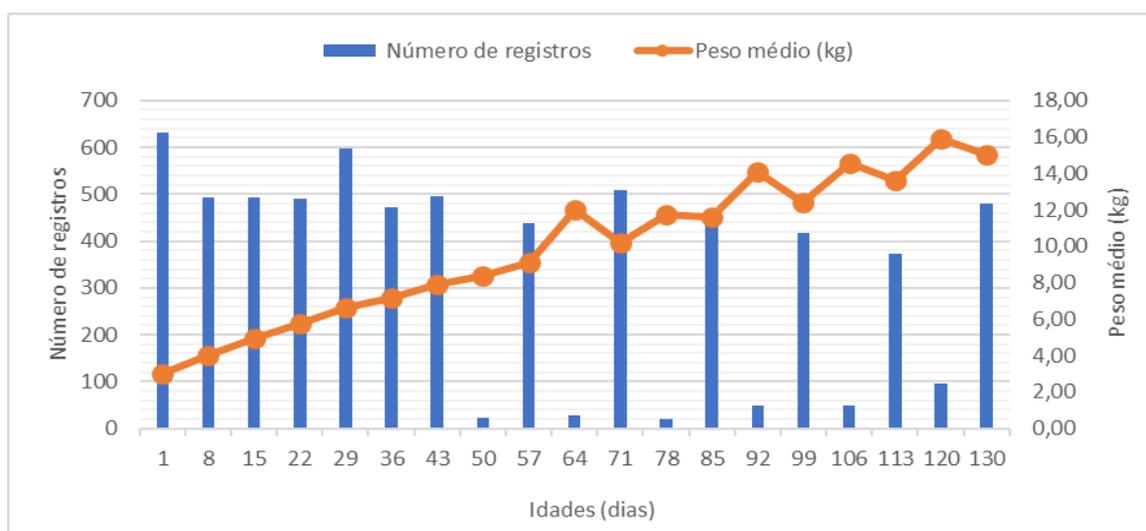


Figura 1. Número de registros (barras) e média de peso, em kg (linha), de animais da raça Anglonubiana no intervalo de 1 a 130 dias de idade.

194 O maior número de pesagens ocorreu do 1º ao 42º dia de idade. A organização dos
 195 pesos em classes de idade (com intervalo de sete dias) melhorou a estrutura dos dados,
 196 propiciando nessa faixa etária uniformidade na quantidade de pesos por classe, em razão
 197 da realização de pesagens semanais, enquanto nas demais idades passaram a ser
 198 quinzenais. Essa quantidade de pesagens certamente contribui para a qualidade das
 199 análises. Segundo Toral (2008), o nível de precisão requerido nas estimativas influencia
 200 o número e o intervalo de pesagens em estudo de crescimento, visto que do ponto de vista
 201 prático está relacionado a custos, mas a determinação do número e intervalo de pesagens
 202 mínimos de dados é importante para evitar perda de precisão nas estimativas.

203 Comparando os modelos com classes de variâncias residuais, de acordo com os
 204 critérios de avaliação empregados, verificou-se que o modelo considerando
 205 homogeneidade de variância (3,3,3,3-1) foi o mais adequado (Tab. 3). Vale ressaltar que
 206 nessa comparação, os critérios AIC, BIC e AICC foram preferidos porque permitem a
 207 comparação de modelos não-aninhados e penalizam aqueles com maior número de
 208 parâmetros (Wonfinger, 1993).

209 Tabela 3. Modelos de regressão aleatória para avaliação da variância residual.

Modelos	Critérios estatísticos ¹				
	Log L	AIC	BIC	AICC	NP
3333-1	-2495,131	-2520,131	-2604,705	-2520,230	25
3333-2	-2420,728	-2446,728	-2534,685	-2446,835	26
3333-3	-2127,767	-2.154,767	-2246,107	-2154,882	27
3333-4	-2062,437	-2090,437	-2185,159	-2090,560	28
3333-5	-2058,663	-2087,663	-2185,769	-2087,796	29

210 Assim, o modelo no qual considerou-se que as variâncias residuais foram
 211 homogêneas, 3333-1, com 25 parâmetros, também foi escolhido para modelar a trajetória
 212 de crescimento dos animais na faixa etária estudada e para a estimação de componentes
 213 de (co) variância e parâmetros genético, uma vez que apresentou o melhor ajuste e
 214 comportamento coerente com o desenvolvimento corporal dos animais nas idades
 215 avaliadas (Tab. 4).

216 Dessa forma, as variâncias residuais tenderam a ser constantes durante o período
 217 estudado, implicando em se admitir que o ambiente afeta igualmente os animais nessas
 218 idades. Por ser uma fase dependente da mãe, até a desmama os animais estão sujeitos a
 219 um ambiente de criação mais homogêneo.

220 No entanto, convém considerar que é um período relativamente curto, mas que
 221 corresponde a uma fase de vida na qual os caprinos são sensíveis a estresse de natureza
 222 ambiental, como a redução da produção de leite da mãe, o contato com verminose no
 223 pasto e desmama. Estes foram os eventos considerados para a divisão das classes de
 224 variância, mas que não exerceram influência suficiente para resultar em heterogeneidade
 225 de variância no intervalo estudado.

226 Tabela 4. Resumo dos modelos estudados para modelagem da parte aleatória.

Modelos	Critérios estatísticos ¹				
	Log L	AIC	BIC	AICC	NP
3333-1	-2495,131	-2520,131	-2604,705	-2520,230	25
3334-1	-2286,506	2315,506	-2413,612	-2315,639	29
3433-1	-2090,077	-2119,077	-2217,183	-2119,210	29
3434-1	-2079,898	-2112,898	-2224,536	-2113,069	33
4333-1	-2018,819	-2047,819	-2145,925	-2047,952	29

4343-1	-2017,734	-2050,734	-2162,371	-2050,905	33
4444-1	-2015,443	-2056,443	-2195,145	-2056,706	41
5333-1	-1902,551	-1936,551	-2051,572	-1936,733	34
5555-1	-1882,848	-1943,848	-2150,209	-1944,427	61

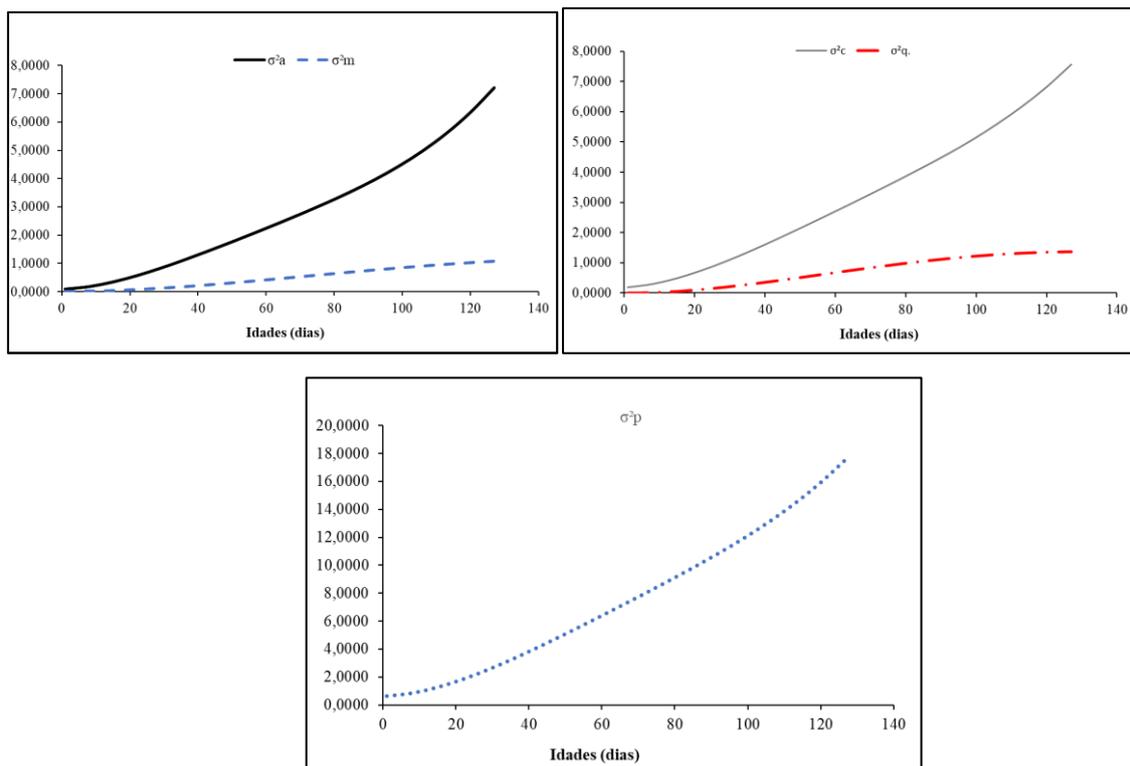
227 Resultados semelhantes foram reportados por Santoro et al., (2005), que
 228 verificaram melhor ajuste do modelo de regressão aleatória considerando o resíduo
 229 homogêneo na descrição do crescimento em animais Nelore criados no Pernambuco. Vale
 230 ressaltar que o mesmo não considerou os efeitos maternos como causa de variação nos
 231 modelos adotados, o que pode ter influenciado a estimação dos parâmetros genéticos.

232 Por outro lado, a literatura apresenta vários trabalhos que indicam que considerar
 233 estruturas heterogêneas de variância residual é mais adequado para ajustar pesos de
 234 caprinos ao longo do crescimento (Sousa et al., 2008; Barazandeh et al., 2012; Kheirabadi
 235 & Rashidi, 2016). Da mesma forma (Araújo et al., 2016; Ferreira et al., 2017) trabalhando
 236 com bovinos das raças Nelore e Guzerá, respectivamente, em estudos de crescimento.

237 Observa-se também que à medida que se aumentou o grau dos polinômios para
 238 ajustar a regressão aleatória, de 3 a 5, não implicou em melhoria no ajuste dos modelos.
 239 Assim, o modelo que contemplava um ajuste quadrático (3,3,3,3) para todos os efeitos
 240 aleatórios considerados foi o preferido por ser mais parcimonioso e por estimar
 241 herdabilidades mais realistas.

242 A adoção de polinômios de alto grau pode ocasionar problemas de convergência e
 243 que uma regressão quadrática para todos os efeitos aleatórios seria uma escolha
 244 conservadora e sensata em estudos com bovinos, segundo Mayer (2003). Porém não há
 245 recomendações precisas quanto a adoção do grau dos polinômios em modelos de
 246 regressão aleatória, visto que o número de informações por data de pesagens pode
 247 influenciar na quantidade de graus do polinômio que melhor se ajustara aos dados (Araújo
 248 et al., 2016).

249 As estimativas de variância genética aditiva direta e materna, de ambiente
 250 permanente de animal e materna e fenotípica, apresentaram tendência de crescimento à
 251 medida que aumentou a idade dos animais (Fig.2).



252

253

254 Figura 2. Estimativas de componentes de variâncias diretas (σ^2_a) e maternas (σ^2_m) (acima
 255 a esquerda), e de ambiente permanente direto (σ^2_c), e materno (σ^2_q) (acima a direita),
 256 variância fenotípica (abaixo ao centro) calculadas em função da idade, em caprinos
 257 Anglonubianos, com modelos de regressão aleatória 3333 e variância residual
 258 homogênea.

259 As variâncias genéticas aditiva direta apresentaram valores muito baixos no início
 260 do período de pesagens, principalmente para peso ao nascer ($0,088 \text{ kg}^2$), e foram
 261 aumentando até o final do período estudado. Segundo Sousa et al. (2010) valores de baixa
 262 magnitude próximos de zero ao nascimento podem estar relacionados a falta de ajuste da
 263 variância residual quando se emprega uma estrutura de variância residual homogênea.

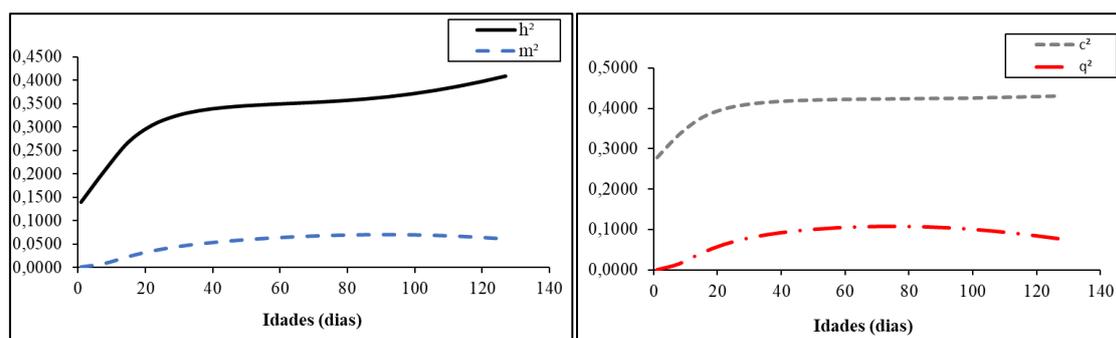
264 O comportamento das estimativas de variâncias do efeito genético aditivo direto e
 265 das estimativas dos valores da variância de ambiente permanente de animal foi muito
 266 semelhante, mas esse último apresentou valores um pouco superior ao efeito direto

267 De maneira semelhante aos efeitos de animal, os efeitos maternos tiveram
 268 comportamentos similares, com tendência de aumento constante até o final do período
 269 estudado, entretanto, apresentando valores de baixa magnitude. O efeito permanente
 270 materno apresentou estimativas um pouco maiores, mas não excedendo $1,3 \text{ kg}^2$.

271 Esse padrão de comportamento é semelhante ao descritos por Fischer et al. (2006)
 272 empregando modelos de regressão aleatórias para estimação de parâmetros genéticos de

273 peso em cordeiros na fase de crescimento e também ao verificado por Araújo et al. (2016),
 274 modelando características de crescimento de bovinos da raça Nelore.

275 As estimativas de herdabilidade direta (h^2) e materna (m^2), proporções de ambiente
 276 permanente de animal (c^2) e materno (q^2) em relação à proporção da variância fenotípica
 277 para o peso corporal em idades pertencentes ao intervalo da trajetória estudada são
 278 exibidas na Fig.3.



279

280 Figura 3. Estimativas de variâncias e herdabilidades diretas (h^2) e maternas (m^2), e
 281 componentes de variância para ambiente permanente de animal (c^2) e materno (q^2) como
 282 proporção da variância fenotípica, em caprinos Anglonubianos, com o modelo de
 283 regressão aleatória 3333 e variância residual homogênea.

284 O comportamento das herdabilidades diretas e efeito de ambiente permanente de
 285 animal foram bastante similares e assim como as estimativas de variância foram
 286 crescentes durante todo o período estudado. O componente c^2 apresentou maiores valores
 287 que h^2 , variando de 0,27 a 0,43, sendo crescentes desde o nascimento.

288 O comportamento verificado com as estimativas de efeito de ambiente permanente
 289 de animal também se repetiu para as estimativas de herdabilidade direta, porém com
 290 valores de menor magnitude. Esse resultado está em consonância com os apresentados
 291 por Sarmiento et al. (2010), quando admitiram resíduos constante na avaliação genética
 292 de ovinos da raça Santa Inês, do nascimento até os 140 dias de idade, que é uma faixa de
 293 idade similar ao aqui estudada. Porém ocorre discordância quanto ao ajuste do melhor
 294 modelo, pois o referido autor obteve melhores ajustes aos dados quando se considerou
 295 heterogeneidade de variância residual.

296 Os valores da herdabilidade materna (m^2) foram de baixa magnitude ($< 0,06$). Os
 297 efeitos maternos apresentaram menor influência que os aditivos diretos em todas as
 298 idades, sugerindo que a mãe exerceu pouca influência sobre a prole, se assemelhando a
 299 resultados relatados na literatura (Fischer et al., 2006).

300 Os baixos valores de herdabilidade materna podem estar refletindo influência do
 301 reduzido número de matrizes avaliado, limitando assim afirmações sobre eficiência na
 302 seleção para melhoria da habilidade materna. No entanto, chama-se atenção para
 303 particularidades que ocorreram no manejo reprodutivo das matrizes do rebanho, como a
 304 organização das cabras em classes de idade, possibilitando que cada reprodutor fosse
 305 acasalado com matrizes de todas as faixas de idade.

306 Além disso, a matriz que iniciou a vida produtiva no período seco do ano, tendeu a
 307 apresentar os partos seguintes na mesma época, o mesmo ocorrendo para as que
 308 começaram o período reprodutivo na estação chuvoso. A reposição de fêmeas com
 309 animais do rebanho e de reprodutores externos, implica na estrutura do rebanho com bom
 310 controle de consanguinidade, mas com muitas meias irmãs paterna.

311 As estimativas de correlações genéticas aditivas diretas e maternas estão
 312 apresentadas (Tab. 5). A análise da correlação genética aditiva direta para PN e os pesos
 313 em idades subsequentes foram positivas de magnitude moderada, apresentando menores
 314 valores quando comparada com pesos nas idades finais. De modo geral pesos em idades
 315 mais próximas apresentaram-se altamente correlacionados. Esses valores sugerem que os
 316 genes em comum interferem nos pesos nas idades avaliadas.

317 O uso da regressão aleatória no estudo do crescimento desses animais deixa
 318 evidente pelos resultados encontrados que é possível interferir no padrão de crescimento
 319 levando em consideração os valores de herdabilidade e correlações genéticas entre pesos
 320 sucessivos.

321 A correlação genética materna entre o peso ao nascer e as demais idades foi negativa
 322 isso pode ser reflexo da quantidade de dados analisada. Essa justificativa também parece
 323 ser pertinente para os resultados apresentados nesse estudo ao se constatar que os valores
 324 foram de elevada magnitude. Embora diferentemente do que ocorre em bovinos a
 325 ocorrência de parto duplo pode também refletir nesse resultado.

326 Tabela 5..Estimativas de correlação genética aditiva direta (acima da diagonal) e genética
 327 materna (abaixo da diagonal), entre os pesos nas idades PN, P22, P56, P92, P130, obtidas
 328 pelo modelo 3333-1.

Idade (dias)	Idade (dias)				
	PN	P22	P56	P92	P130
PN	-	0,670	0,562	0,544	0,488
P22	-0,691	-	0,970	0,867	0,639

P56	-0,707	1,000	-	0,951	0,771
P92	-0,711	0,999	1,000	-	0,929
P130	-0,712	0,997	0,998	0,999	-

329 CONCLUSÕES

330 Valores de herdabilidade e correlação estimados com modelos de regressão
331 aleatória considerando-se variância residual homogênea podem ser referências
332 consistente para a seleção ser realizada no período da pré-desmama para reposição em
333 sistema extensivo de criação.

334 AGRADECIMENTOS

335 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
336 Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e a Universidade federal do Piauí.

337 REFERÊNCIAS

338 ARAÚJO, C.V.; LAUREANO, M.M.M.; NEHLS, W.F. et al. Modelos de regressão
339 aleatória para características de crescimento de bovinos da raça Nelore do estado de
340 Mato Grosso. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.*, v.68, p.448-456, 2016.

341 BARAZANDEH, A.; MOGHBELI, S. M.; HOSSEIN-ZADEH, N. G.; VATANKHAH,
342 M. Genetic evaluation of growth in Rainy goat using random regression models. *Liv.*
343 *Sci.*, v.145, p.1-6, 2012.

344 BOZDOGAN, H. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The
345 general theory and its analytical extensions. *Psyc.* v.52, p.345-370, 1987.

346 COSTA, V. M.; SIMÕES, S. V.; RIET-CORREA, F. Controle das parasitoses
347 gastrintestinais em ovinos e caprinos na região semiárida do Nordeste do Brasil. *Pesq.*
348 *Vet. Bras.*, v.31, p. 65-71, 2011.

349 FERREIRA, J.L.; BRESOLIN, T.; LOPES, F.B.; GARCIA, J.A.S.; NEPOMUCENO,
350 L.L.; SCHMIDT, A.B.; LOBO, R.B. Modelos de regressão aleatória para característica
351 de crescimento em bovinos da raça Guzerá. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v.18,
352 2017. Disponível em: Acesso em: 25 abr. 2019.

- 353 FISCHER, T.M.; VAN DER WERF, J.H.J.; BANKS, R.G. et al. Análise genética do
354 peso, gordura e profundidade muscular em cordeiros em crescimento usando modelos
355 de regressão aleatória. *Ani. Sci.*, v.82, p.13-22, 2006.
- 356 FISCHER, T.M.; VAN DER WERF, J.H.J.; BANKS, R.G. et al. Análise genética do
357 peso, gordura e profundidade muscular em cordeiros em crescimento usando modelos
358 de regressão aleatória. *Ani. Sci.*, v.82, p.13-22, 2006.
- 359
- 360 IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa
361 Pecuária Municipal 2017. Tabela 3939: Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho, 2008
362 a 2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>.
363 Acessado em: 01 out. 2018.
- 364 KHEIRABADI, K.; RASHIDI, A. Genetic description of growth traits in Markhoz goat
365 using random regression models. *Sma. Rum. Res.*, v.144, p.305-312, 2016.
- 366 MEYER, K. First estimates of covariance functions for lifetime growth of Angus cattle.
367 *Proc. Assoc. Adv. Anim. Breed. Gen.*, v.15,p.395-398, 2003.
- 368 PASSAFARO, T.L.; FRAGOMENI, B.O.; GONÇALVES, D.R. et al. Análise genética
369 do peso em um rebanho de bovinos Nelore. *Pesq. Agr. Bras.*, v.51, p.149-158, 2016.
- 370 SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.B.P.; SANTOS, E.S. et al. Uso de funções de
371 covariância na descrição do crescimento de bovinos Nelore criados no Estado de
372 Pernambuco. *Rev. Bras. Zoot.*, v.34, p.2290-2297, 2005.
- 373 SARMENTO, J. L. R. *Modelos de regressão aleatória para avaliação genética da*
374 *curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês*. 2007. 101f. Tese (Doutorado) –
375 Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- 376 SARMENTO, J.L.R. et al. Modelos de regressão aleatória na avaliação genética do
377 crescimento de ovinos da raça Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.39,
378 p.1723-1732, 2010.
- 379 SOUSA, J.E.R.; SILVA, M.A.; SARMENTO, J.L.R. et al. Avaliação da trajetória
380 média de crescimento de caprinos em modelos de regressão aleatória. *Arch. Zoot.*,
381 v.59, p.267-276, 2010.

- 382 SOUSA, J.E.R.; SILVA, M.A.; SARMENTO, J.L.R. et al. Homogeneidade e
383 heterogeneidade de variância residual em modelos de regressão aleatória sobre o
384 crescimento de caprinos Anglo-Nubianos. *Pesq. Agr. Bras.*, v.43, p.1725-1732, 2008.
- 385 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. User's guide for Windows Environment.
386 Versão 9.0 Cary: *SAS Institute*, 2003.
- 387 TORAL, F. L. B. Número e intervalo de pesagem para estimação de parâmetros de
388 curvas de crescimento em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 12, p.
389 2120-2128, 2008.
- 390 WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. *Comm. Stat.*
391 *Simu.*, v.22, p.1079-1106, 1993.
- 392
- 393