

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

ELLEN PEREIRA BORGES SANTOS

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AJUSTE DE CURVAS DE
LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-
LINEARES E DE REGRESSÃO ALEATÓRIA**

ILHÉUS – BAHIA

2018

ELLEN PEREIRA BORGES SANTOS

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AJUSTE DE CURVAS DE
LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-
LINEARES E DE REGRESSÃO ALEATÓRIA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Santa Cruz, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal

Área de concentração: Melhoramento Genético Animal

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da Silva

ILHÉUS – BAHIA

2018

S237 Santos, Ellen Pereira Borges.
Estimação de parâmetros genéticos e ajuste de curvas de lactação de vacas de raça girolando por meio de modelos não-lineares e de regressão aleatória / Ellen Pereira Borges Santos.
- Ilhéus : UESC, 2018.
51f. : il.
Orientador : Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da Silva.
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Santa Cruz.
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal.

Inclui referências.

1. Bovino de leite. 2. Raça Girolando – Melhoramento genético. 3. Raça Girolando – Leite – Produção. I. Silva, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da. II. Título.

CDD – 636.224

Espaço reservado para ficha catalográfica

ELLEN PEREIRA BORGES SANTOS

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AJUSTE DE CURVAS DE
LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-
LINEARES E DE REGRESSÃO ALEATÓRIA**

Ilhéus – BA, 27/04/2018

Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da Silva – *DSc*
EMBRAPA
(Orientador)

Jaime Araújo Cobuci – *DSc*
UFRGS/PPGZ
(Co-Orientador)

Darlene dos Santos Daltro
UFRGS/PPGZ

Gabriel Soares Campos
UFRGS/PPGZ

ILHÉUS – BAHIA

2018

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais, Geraldo e Edna, pelo carinho, pela constante orientação e pelos ensinamentos durante a vida.

Ao meu marido, pelo amor, carinho, compreensão e apoio incondicional ao longo desta trajetória.

A minhas irmãs, Larissa e Leyne, por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus familiares, pelo grande apoio e valiosos conselhos.

Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela a vida e sabedoria.

À Universidade Estadual Santa Cruz (UECS), pela oportunidade da realização do curso.

A meu orientador Dr. Marcus Vinícius Gualberto Barbosa da Silva, por todos os ensinamentos, incentivo e por contribuir para minha formação.

Ao meu co-orientador Dr. Jaime Araújo Cobuci, pela orientação ao longo deste curso.

A todos os professores contribuíram para minha formação e participaram da minha banca de defesa.

A EMBRAPA e Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, pela concessão dos dados de análise.

Ao SENAR por ter permitido que concluísse o Doutorado.

A minhas amigas, Letícia e Anilma, pelos momentos de alegria e estudo, essenciais para minha formação.

Aos meus amigos da UFRGS, Renata, Giovani e todos os membros do laboratório de melhoramento genético animal.

A todas as colegas da pós-graduação, pelos momentos de convivência e respeito.

Aos meus familiares pelo apoio e torcida.

A todos que contribuíram para a milha formação.

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AJUSTE DE CURVAS DE LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-LINEARES E DE REGRESSÃO ALEATÓRIA

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, estimar os parâmetros da curva de lactação pelo ajuste da produção de leite no dia do controle via funções não-lineares em bovinos Girolando, e posterior estimação dos parâmetros genéticos por meio de modelos de regressão aleatória. Foram utilizados registros de produção de leite no dia do controle de vacas primíparas das raças Holandês, Gir e Girolando, com partos ocorridos entre os anos 1988 a 2014, pertencentes ao Arquivo Zootécnico do Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Leite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/CNPGL). Os dados produtivos foram ajustados via funções de Wood e Wilmink. O modelo de Wood permitiu estimar de modo satisfatório os parâmetros dos componentes da curva de lactação de bovinos da Raça Girolando, apresentando melhor ajuste (R^2A 78,06). A estimação de parâmetros genéticos via modelos de regressão aleatória apresentou melhor ajuste quando os polinômios de Legendre de terceira ordem, tanto para o efeito genético aditivo quanto para o efeito de ambiente permanente. A herdabilidade para produção de leite variou de 0,12 a 0,19, em que os maiores valores foram relatados no meio da lactação. A correlação genética variou entre 0,37 a 1,0, os maiores valores foram relatados entre os períodos adjacentes e o início e o final da lactação. Assim, é possível concluir que o modelo de Wood mostra um bom ajuste para descrever a lactação em bovinos da raça Girolando. Quanto à estimação dos parâmetros genéticos via regressão aleatória, a utilização de polinômios de Legendre de terceira ordem é a melhor alternativa.

Palavras-chave: Bovinocultura de leite. Medidas repetidas. Componentes de variação. Seleção genética.

ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS AND ADJUSTMENT OF LACTATION CURVES OF GIROLANDO COWS BY TURNING THROUGH NONLINEAR MODELS AND RANDOM REGRESSION

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the parameters of lactation curve by adjusting the test-day milk yield estimated via nonlinear functions in Girolando cattle, and subsequently estimating the genetic parameters using random regression models. Milk yield test-day records of first-parity Holstein, Gyr and Girolando breeds cows were used, with parity that took place between the years 1988 to 2014, belonging to Zootechnical Archive of the Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Leite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA / CNPGL). The productive data were adjusted using Wood and Wilmink functions. The Wood model allowed a satisfactory estimate of the parameters of the components of the lactation curve of Girolando cattle, showing a better fit ($R^2A = 78.06$). The estimation of genetic parameters via random regression models showed a better fit when the third order Legendre polynomials, both for the additive genetic effect and for the permanent environment effect. Heritability for test-day milk yield ranged from 0.12 to 0.19, where the highest values were reported in mid-lactation. The genetic correlation varied between 0.37 to 1.0, the highest values were reported between adjacent periods and the beginning and end of lactation. Thus, it's possible to conclude that Wood model shows a good fit to describe lactation in Girolando cattle. As for the estimation of genetic parameters via random regression, the use of third-order Legendre polynomials is best alternative.

Keywords: Dairy cattle. Genetic selection. Components of variation. Repeated measures.

LISTA DE FIGURAS

Figura

	Página	
1	Heritability estimates and variances for test-day milk yield (TDMY) for Girolando cattle (Holstein x Gyr) by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials	40
2	Girolando Genetic (g, on the right) and permanent environmental correlations (e, on the left) for test-day milk yield (TDMY) for Girolando cattle (Holstein x Gyr) by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials	41

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página	
1	Número de observações, médias, desvio-padrão (DP), para Dias em lactação e produção de leite acumulada até 305 dias (P305) em lactação e produção de leite acumulada até 305 dias (P305)	25
2	Estimativa dos parâmetros das funções Wood (WD) e Wilmink (WL) de vacas de primeira ordem de parto da raça Girolando	27
3	Valores de produção inicial, produção de leite no pico de lactação, tempo para atingir o pico e persistência na lactação, estimados pelo modelo de Wood	28
4	Matriz dos coeficientes de correlação entre os parâmetros do modelo: produção diária no início da lactação (a), inclinação da fase ascendente até o pico de produção (b), e inclinação da fase descendente após o pico de produção (c)	29
5	Description of database of the first lactation of Brazilian Holstein, Gyr and Girolando cattle	36
6	Values of tests of goodness of fit obtained by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Produção de leite	15
3.2	Melhoramento genético de bovinos leiteiros	15
3.3	Girolando	16
3.4	Curva de lactação	17
3.5	Pico de lactação	17
3.6	Persistência da lactação	18
3.7	Modelo de regressão aleatória	19
3.8	Modelos matemáticos utilizados no estudo da curva de lactação	20
4	ARTIGO CIENTÍFICO I	22
	RESUMO	23
	INTRODUÇÃO	23
	MATERIAL E MÉTODOS	24
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	30
5	ARTIGO CIENTÍFICO II	33
	ABSTRACT	34
	INTRODUCTION	35
	MATERIALS AND METHODS	36
	RESULTS AND DISCUSSION	39
	CONCLUSION	44
	REFERENCES	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a pecuária leiteira é de incontestável importância no país e a raça bovina brasileira mestiça, Girolando originada do cruzamento entre a raça zebuína Gir e a raça europeia Holandês, é responsável por 80% do leite produzido no Brasil (ABCG, 2018; CANAZA-CAYO et al. 2014; SALGADO et al. 2016). Sua principal característica é a alta capacidade de adaptação às diversas condições climáticas, adequando-se bem aos diversos sistemas de produção, excelente produtividade, alta fertilidade e vigor (SILVA et al., 2014), demonstrando sua importância para a cadeia leiteira nacional.

A seleção de bovinos de leite nos programas de melhoramento genético é baseada no registro do controle leiteiro, sendo que os dados fornecidos possibilitam a representação gráfica da variação da produção mensal (curva de lactação) de uma fêmea leiteira em função da duração da lactação (COBUCI et al., 2001). E os principais parâmetros para descrever a curva de lactação é a persistência do pico e a duração da lactação (SANDERS, 1930). Tradicionalmente, nas avaliações genéticas utilizava-se a produção total, acumulada até os 305 dias, calculada a partir de registros de controles leiteiros mensais (CHAVES, 2005), pois em vacas especializadas a duração da lactação normal é de 305 dias.

No entanto, métodos mais imprescindíveis são necessários para prever o valor genético dos animais. Por isso, nas últimas décadas vêm sendo continuamente estudadas novas metodologias de avaliação genética e grandes avanços foram obtidos (MESERET et al., 2015). A exemplo das avaliações genéticas que consideram a produção de leite no dia do controle, no qual têm despertado o interesse de pesquisadores e produtores. Isto porque, com essa metodologia, além de se obter predição da produção total mais acurada, não é necessário estender a lactação por meio de fatores de ajustamento para animais que não completaram 305 dias de lactação e há maior confiabilidade para as predições dos valores genéticos (ARAÚJO et al., 2006).

O modelo de regressão aleatória possibilita a estimação dos componentes de variância e predição de valores genéticos para determinadas fases da lactação, para a produção acumulada até os 305 dias e para características de importância econômica como a persistência da lactação (HERRERA et al., 2008).

Modelos não lineares são comumente aplicados a dados de produção de leite, alguns destes modelos podem prever com exatidão a produção de leite no dia

do controle, entretanto existe um grande número destes modelos, todavia os mais utilizados, com resultados satisfatórios, são os modelos de Wood e Wilmink (Daltro et al., 2018).

No entanto, para se tomar a difícil decisão sobre qual metodologia adotar para melhorar os estudos genéticos da raça Girolando, estudos são necessários a fim de elucidar tais questões. Em um primeiro momento definir a metodologia mais adequada para descrever os componentes da curva de lactação em bovinos da raça Girolando e depois, estimar os parâmetros genéticos via regressão aleatória.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho produtivo, duração da lactação, tempo para atingir o pico, produção de leite no pico e a persistência de lactação em vacas da raça Girolando, através do modelo não linear de Wood e Wilmink. E aferir parâmetros genéticos por meio de modelos de regressão aleatória.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Estimar parâmetros da curva de lactação para a produção de leite acumulada até 305 dias da raça Girolando.
- b) Estudar o pico e o tempo para alcançar o pico na lactação na raça Girolando em vacas de primeira lactação.
- c) Estimar parâmetros genéticos através de modelos de regressão aleatória com três coeficientes para o efeito genético aditivo, três coeficientes para efeito de ambiente permanente e variância residual homogênea.

3 REVISÃO DE LITERATURA

6.1 Produção de leite

A produção de leite é uma importante característica econômica em diversas espécies de interesse zootécnico, e uma importante fonte de renda para produtores, principalmente em ambientes tropicais (AL-SAMARAI et al., 2015).

Atualmente, a produção média de leite por vaca em um ano no Brasil é de 1.525 litros, o que é inferior à média mundial de 3.527 litros por animal por ano (USDA, 2016). Mesmo assim, o Brasil ainda é um dos maiores produtores mundiais de leite, ocupando o quarto lugar, atrás dos Estados Unidos, Índia e China (FAO, 2017). Portanto, a posição do Brasil se deve ao tamanho do rebanho (aproximadamente 23 milhões de animais), atrás apenas da Índia (49,5 milhões de animais).

Em comparação com os Estados Unidos, o maior produtor mundial, que têm aproximadamente 9,2 milhões de animais e a produção de leite de cada animal é de cerca de 10.150 litros/animal/ano (FAO, 2017). O Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer em termos de produtividade do rebanho.

O baixo nível técnico de grande parte das propriedades leiteiras é considerado o principal fator que afeta a eficiência produtiva de vacas leiteiras no país (VILELA; RESENDE, 2014), que está relacionado às deficiências nutricionais, baixa qualidade genética das vacas leiteiras (FISHER et al., 2011) e a falta de assistência técnica nas fazendas (PATÊS et al., 2012).

Portanto, é indispensável que sejam implementadas pesquisas sobre as causas de variação na produção do leite, importantes para toda a cadeia láctea, que sirva como ferramenta para melhorar a produtividade (SOUZA et al., 2010), bem como para o melhoramento genético do rebanho que é uma das opções para aumentar a produtividade (MESERET et al., 2015).

6.2 Melhoramento genético de bovinos leiteiros

O melhoramento genético é um meio importante de otimização do sistema produtivo adotado no Brasil porque, em média, os indicadores relacionados à eficiência, intensificação da produção e desempenho não são elevados. Neste caso, é necessário utilizar o melhoramento genético para obter o máximo de incremento produtivo (LEÃO et al., 2013).

A definição do objetivo de seleção é a etapa básica na formulação de um plano de melhoramento genético, pois descreve as características que devem ser melhoradas. Portanto, para o seu estabelecimento, de acordo com Groen et al. (1997), deve-se identificar quais as características que influenciam economicamente o sistema de produção visando maximizar o lucro da atividade (VERCESI FILHO et al., 2007).

De acordo com Effa et al. (2011) os principais problemas para tornar o programa de melhoramento eficiente são: falta de registros de desempenho, pequeno tamanho do rebanho, serviços de inseminação artificial ineficientes e falta de objetivos de reprodução claros. Por isso a importância de utilizar metodologias que permitam avaliar curvas de lactação individuais a partir de lactações incompletas ou com reduzido número de controles por animal.

6.3 Girolando

A formação da raça Girolando, através dos cruzamentos entre animais das raças Gir (G) e Holandesa (H) deu-se início em torno das décadas de 1940 e 1950, no Vale do Paraíba, estado de São Paulo, quando um touro da raça Gir invadiu uma pastagem vizinha e cobriu algumas vacas da raça Holandesa, a qual predominava nos rebanhos daquela região. Ao nascerem os produtos desse cruzamento, os criadores observaram que eram animais totalmente diferentes do que os animais tradicionais daquela época (ABCG, 2014).

As normas para formação da raça Girolando, só foram elaboradas em 1989 direcionando os acasalamentos para a fixação do padrão racial, no grau de 5/8 Holandês + 3/8 Gir, objetivando um gado produtivo e padronizado, buscando a consolidação do Puro Sintético da Raça Girolando (PS), a raça propriamente dita. Quaisquer combinações entre a raça Holandesa e a raça Gir, e, seus mestiços poderão ser utilizados para obtenção do PS. Passando por várias composições raciais desde 1/4H + 3/4G até 7/8H + 1/8G. A raça Girolando – Gado Leiteiro Tropical (5/8H + 3/8G), foi oficializada em 1996 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (ABCG, 2014).

O Serviço de Registro Genealógico da raça Girolando (SRGRG) contempla duas categorias de registro. A primeira é a categoria CCG (Produtos de Cruzamentos Sob Controle de Genealogia), com todos os graus de sangue (1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8). A outra categoria é a PS (Puro Sintético), com apenas os animais

5/8 que são filhos de pai e mãe 5/8, ou seja, um animal oriundo de cruzamentos direcionados para fixação de características econômicas e raciais. (ABCG, 2014).

6.4 Curva de lactação

O controle leiteiro é uma prova zootécnica que consiste na mensuração e registro da produção individual, no período de 24 horas, sendo importante fonte de informação para a avaliação genética de bovinos leiteiros (PEREIRA et al., 2010). O controle leiteiro tem como finalidade melhorar o gerenciamento sobre os custos de alimentação, descartar vacas improdutivas ou com baixa eficiência reprodutiva, secar matrizes de produção abaixo do desejado, decidir quanto a alterações no manejo oferecido aos animais e promover o melhoramento genético animal do rebanho, pois os controles viabilizam o cálculo da produção de uma vaca durante toda a lactação, e através de metodologias estatísticas específicas, utiliza-se essa produção para prever o valor genético dessa vaca e de seus parentes (RODRIGUES; NARDI JUNIOR, 2016).

Segundo Cobuci et al. (2000), os dados do controle leiteiro são ajustados em uma curva de lactação, ou seja, a representação gráfica da produção de leite ao longo da lactação de uma vaca. A curva de lactação, normalmente, apresenta três fases, a produção inicial, o pico de produção e a taxa de declínio após o pico (JACOPINI et al. 2016).

O conhecimento das curvas de lactação de bovinos da raça Girolando auxilia na adequação de técnicas de alimentação e manejo, no descarte e na seleção de animais, de acordo com um padrão desejável (GONÇALVES, 1994). Por isso, a curva de lactação é uma importante ferramenta na caracterização da produção do animal durante toda a lactação. Sendo possível identificar componentes que determinam a forma da curva de lactação, como o pico de produção e persistência da lactação (REKAYA et al., 2000). Segundo Azevedo Júnior (2014), os componentes da curva podem ser estimados via funções matemático-estatísticas ou como funções dos parâmetros utilizados na modelagem das curvas de lactação.

6.5 Pico de lactação

Um componente importante a ser considerado na curva de lactação é o pico de produção, que pode ser definido como a produção máxima de leite alcançada em

um dia da lactação (WOOD, 1967). O pico é um dos principais fatores que determinam a produção de leite, o período e a forma da curva de lactação. Graficamente, o pico é representado pelo ponto de inflexão da curva de lactação (MOLENTO et al., 2004).

Em vacas da raça Holandesa, o pico de lactação ocorreu entre 60 a 90 dias (COBUCCI et al., 2004). Enquanto que em vacas Gir, o tempo ao pico ocorreu próximo dos 60 dias (HERRERA et al., 2008). Segundo Borges et al. (2015), em vacas mestiças, o pico de produção ocorre em média duas semanas antes do pico das vacas da raça Holandesa. Mas, em rebanhos mestiços poucos explorados geneticamente, assim como em rebanhos zebuínos, podem observar o pico no primeiro dia da lactação, iniciando na produção máxima com ausência da fase de inclinação do parto ao pico, apresentando graficamente uma curva atípica, linear decrescente de produção (PAPAJCSIK; BODERO, 1988).

6.6 Persistência da lactação

Segundo Wood (1967), a persistência é o principal e mais importante componente da curva de lactação, pois está diretamente relacionada a aspectos econômicos da atividade leiteira, podendo influenciar os custos com alimentação, saúde e reprodução dos animais (MELO et al., 2014). Uma maneira de diminuir os custos é distribuir o rendimento de leite total igualmente por toda a lactação. Vacas com maior persistência ingerem menos alimento para produzir a mesma quantidade de leite produzido por uma vaca com menor persistência, tornando-se mais eficiente, visto que suas curvas de lactação são diretamente relacionadas com sua capacidade de ingestão de alimentos (SHAHRBABA, 1997).

Existem na literatura diversas definições para persistência na lactação e maneira de expressar essa característica em termos matemáticos, entre elas, a persistência é como a produção de leite se mantém por toda lactação (MUIR, 2004), a taxa em que a produção de leite diminui a partir da produção máxima (SANDERS, 1930), o grau em que a produção de leite, na fase inicial da lactação, é mantida (MAHADEVAN, 1951), a habilidade de uma fêmea manter níveis constantes de produção até o final da lactação (FREITAS, 2008), a extensão na qual o pico de produção é mantido (WOOD, 1967), a habilidade da vaca em manter a produção de leite ao longo de uma lactação (MOLENTO, 1996), e a habilidade de manter mais ou menos constante a produção de leite durante a lactação (GENGLER, 1996), via de

regra, persistência na lactação é definida como a capacidade da vaca em manter a produção de leite após atingir sua produção máxima na lactação (DORNELES et al., 2009).

Segundo Cobuci et al. (2004) há quatro métodos de mensuração da persistência na lactação: o primeiro baseado em razões entre produção de leite em diferentes fases da lactação; o segundo baseado na variação da produção de leite, ao longo da lactação; o terceiro baseado em parâmetros de modelos matemáticos; e o quarto baseado nos valores genéticos obtidos por meio de coeficientes aleatórios dos modelos de regressão aleatória.

6.7 Modelo de regressão aleatória

A metodologia utilizando os modelos de regressão aleatória (MRA) para estimar os componentes de variância foi inicialmente proposta por Henderson Jr. (1982). Tornando-se uma alternativa para avaliação genética animal de medidas repetidas, pois descreve quase todas as variações da característica, com menor necessidade de número de parâmetros a serem estimados quando comparados aos modelos multicaracterísticos (ARAÚJO et al., 2006).

Essa metodologia possibilita a predição de dois conjuntos de regressão das produções no estágio de lactação: uma curva obtida por uma equação de regressão fixa se refere ao ajuste da curva de lactação para vacas pertencentes à mesma subclasse de efeitos fixos. O outro, regressão aleatório, pois considera os desvios da curva de lactação do animal em relação à curva de lactação fixa para a subclasse à qual pertence o animal (ARAÚJO et al., 2006). Desta maneira, é possível descrever mudanças graduais de covariâncias ao longo do tempo e predizer valores genéticos para os coeficientes de regressão genéticos e a partir desses valores, estimar uma curva de lactação genética para cada animal.

Os MRA podem ser definidos como funções contínuas, que fornece as covariâncias de características medidas em diferentes pontos de uma trajetória (lactação), ao descrever as covariâncias entre as medias tomadas em determinadas idades (dias em lactação) como função dessas idades (PEREIRA et al., 2010). Permitindo modelar o efeito aleatório, utilizando funções polinomiais lineares considerando a heterogeneidade de variâncias residuais em cada controle (PRAKASH et. al., 2017). Oliveira et al. (2015) mostraram que os MRA são um tipo de função de covariância, que possibilita a estimação de forma direta dos

coeficientes destas funções, adotando-se a metodologia da máxima verossimilhança restrita (REML).

A utilização de MRA vem se tornando mais rotineira na avaliação genética de bovinos leiteiros, por representar de forma mais realista os fenômenos associados a dados longitudinais do que os modelos de repetibilidade e de dimensão finita (RESENDE et al., 2001).

Segundo Herrera (2013) a utilização dos modelos de regressão aleatória, em avaliações genéticas, comparado aos modelos tradicionais, apresenta as seguintes vantagens: não precisa do número mínimo de medidas por animal (FREITAS et al., 2010, MOTA et al., 2013), considera os efeitos de ambiente de cada PLDC, não necessita de ajustes para lactações em andamento (ALBUQUERQUE; EL FARO, 2008, PEREIRA et al., 2010), pode utilizar os dados do animal com apenas um controle, estima à curva de lactação para cada animal considerando a relação de parentesco entre indivíduos, prediz o valor genético dos animais em qualquer ponto do intervalo contínuo em que as medidas forem mesuradas (COBUCI et al., 2006, SOUSA JÚNIOR et al., 2014), pode-se estimar menor número de parâmetros e possibilita o cálculo da persistência da produção de leite como as funções dos valores genéticos preditos para os dias da lactação (PEREIRA et al., 2010).

6.8 Modelos matemáticos utilizados no estudo da curva de lactação

Foram propostos vários modelos matemáticos para descrever o comportamento da produção de leite durante a lactação, as primeiras tentativas foram de Brody et al. (1923), propuseram uma equação que descrevia o comportamento exponencial de reações químicas, explicava biologicamente o fenômeno estudado, porém explicava somente a fase de declínio da produção, tornando o modelo inadequado para prever a produção de leite no início da lactação, em função do comportamento ascendente do fenômeno biológico (PEREIRA et al., 2016).

Existem três tipos de funções matemáticas, as lineares, intrinsecamente lineares e não lineares. A função linear é quando a variável dependente tem uma combinação linear dos parâmetros. As intrinsecamente lineares são aquelas que, apesar de não lineares, podem se tornar lineares com transformações apropriadas das variáveis, ou seja, são linearizáveis. E as funções não lineares em que não é possível ser transformada para uma função linear dos parâmetros.

Os modelos matemáticos não lineares, normalmente, são utilizados para descrição de curvas de lactação, ajustados a dados decorrentes de produção de leite em intervalos consecutivos de tempo. Estes modelos geralmente apresentam parâmetros relacionados com taxas crescentes e decrescentes, as quais lhes conferem a não linearidade paramétrica. Através de funções desses parâmetros, outras características da curva de lactação, como a produção de leite no pico, tempo para atingir o pico e persistência podem ser obtidas (VARANIS et al., 2016)

Neste trabalho, foram abordadas as funções de Wood (1967) e Wilmink (1987) essas funções possuem parâmetros estimáveis relacionados à produção de leite no dia do controle, ao tempo de ocorrência e produção no pico de lactação, à persistência da lactação e a produção acumulada, nos 305 dias de lactação (PEREIRA et al., 2016). O modelo proposto por Wood (1967) função gama incompleta ($Y = an^b e^{-cn}$) com intuito de modelar a produção de leite é o mais representativo para esta finalidade, devido as suas vantagens, como a capacidade de prever a produção de leite a partir de uma observação parcial para dada lactação (JACOPINI et al., 2016).

4 ARTIGO CIENTÍFICO I

AJUSTE DE CURVAS DE LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-LINEARES

AJUSTE DE CURVAS DE LACTAÇÃO DE VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DE MODELOS NÃO-LINEARES

Ellen Pereira Borges Santos^{1*}, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da Silva²

¹ Aluno de Pós-Graduação – Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus, BA

² Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora, MG

*Corresponding Author: nellepbs@gmail.com

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, estimar os parâmetros da curva de lactação pelo ajuste da produção de leite no dia do controle estimada pelo modelo Wood e posterior verificar o desempenho produtivo das vacas Girolando. Foram utilizados 126.892 registros de produção de leite no dia do controle de 15.351 vacas primíparas das raças Girolando de partos ocorridos entre os anos 1988 a 2014, pertencentes ao Arquivo Zootécnico do Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Leite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/CNPGL). Foram testadas a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear (Wood e Wilmink) para verificar se os parâmetros das curvas para cada ordem de lactação e foi utilizado o critério de coeficiente de determinação ajustado (R^2A) para determinar o melhor modelo. Dos parâmetros utilizando o modelo de Wood apresentou o R^2A 78,06 indica um bom ajuste aos dados de produção de leite. Entre os modelos estudados, o proposto por Wood, permitiu estimar de modo satisfatório os parâmetros para ajuste da curva de lactação de bovinos da Raça Girolando.

Palavras-chave: Regressão aleatória, bovinocultura de leite, medidas repetidas, componentes de variação, seleção genética.

INTRODUÇÃO

O leite é um dos seis produtos mais importantes da agropecuária brasileira, sendo essencial no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população em todas as regiões do país (Embrapa 2016).

A raça Girolando é responsável pela maior parte do leite produzido no Brasil, sendo um alternativa interessante para o aumento da produtividade média de leite no país, os animais dessa raça possuem características funcionais como rusticidade, produtividade, precocidade, longevidade, fertilidade, além da alta capacidade de adaptação aos diferentes climas e sistemas de produção, desde sistemas totalmente

extensivos a pasto com baixos níveis tecnológicos, até sistemas intensivos confinados com altos níveis tecnológicos (Silva, et al., 2015).

E se tratando de produção de leite, o conhecimento da curva de lactação, é imprescindível para direcionar o manejo nutricional e reprodutivo adotado nos animais em lactação, pelo fato de possibilitar uma estimativa da produção total, do pico de lactação e da persistência (Wood 1967). A curva de lactação pode ser representada através de modelos matemáticos e através dos parâmetros é possível calcular estimativas para produções que ainda não ocorrem, como por exemplo, a produção acumulada aos 305, mesmo que a vaca ainda esteja nos primeiros meses de lactação.

Vários modelos foram proposto e testado em diferentes populações, os modelos de Wood e Wilmink (Wilmink, 1987) se destacam pela facilidade de aplicação e pôr, na maioria dos casos, apresentarem resultados satisfatórios.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho produtivo, duração da lactação, tempo para atingir o pico, produção de leite no pico e a persistência de lactação em vacas da raça Girolando, através do modelo não linear de Wood e Wilmink.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de produção de leite foram obtidos na Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, Brasil. Os animais eram das raças Holandesa (H), Gir (G) e Girolando. Além de seis cruzamentos genéticos de Holandês (H) e Gir (G): 1/4 H, 3/4 G (1/4 H); 3/8 H, 5/8 G (3/8 H); 1/2 H, 1/2 G (1/2 H); 5/8 H, 3/8 G (5/8 H); 3/4 H, 1/4 G (3/4 H); 7/8 H, 1/8 G (7/8 H). Os animais desses grupos são oficialmente chamados Girolando no Brasil.

Com o objetivo de melhorar a qualidade das informações e a consistência dos análises, algumas restrições foram efetuadas nas observações dos animais. Foram excluídos do conjunto de dados, os registros extremos de produção de leite (<4 ou >40 kg), idade ao primeiro parto (<22 ou >48 meses), dias em lactação (DIM, <5 ou 305> dias), número de controles individuais (<4).

Seguindo esses critérios, foram analisados 126.892 registros de TD de 15.351 primeiras lactações, coletadas entre 1990 e 2014. Este banco de dados foi utilizado para ajustar todas as funções avaliadas.

Para ajustar os registros de produção de leite no dia do controle e posterior descrever a curva de lactação, utilizou-se o modelo não linear de Wood (1967): $Y = an^b e^{-cn}$, em que: Y é a produção de leite (kg) ao tempo n de lactação; a é o parâmetro associado à produção diária no início da lactação; b é o parâmetro que mede a inclinação da fase ascendente até o pico de produção; c é o parâmetro referente à inclinação da fase descendente após o pico de produção e e é exponencial. E modelo de Wilmink (Wilmink, 1987): $y_t = a + be^{-kt} + ct$ aonde y é a produção de leite, t é o dia de controle, a é a produção de leite inicial, b é período de acréscimo até o pico de produção, e c é o decréscimo da produção após o pico de lactação, e k é o parâmetro relacionado com o tempo do pico de lactação.

Tabela 1 - Número de observações, médias, desvios-padrão (DP), para os dias em lactação e produção de leite acumulada até 305 dias (P305)

CG	Nº de vacas	Produção de Leite		Dias em Lactação	
		Média	DP	Média	DP
1/4	1603	3078	1.095	203	90
1/2	8214	2035	1.164	178	91
5/8	5645	2464	1.164	182	98
3/4	9191	2743	1.178	180	92
7/8	2798	4174	1.143	179	98

Após a definição do modelo não linear que melhor se adaptou os dados, utilizando os Parâmetros (“a”, “b” e “c”) estimados pelo modelo foram também calculados o tempo para atingir o pico (P), a produção de leite no pico (PP) e a persistência, em que $P = b/c$ e $PP = a[(b/c)b]e^{-b}$; e $PER = [-(b+1)\ln(c)]$, segundo Wood (1967). A persistência tem relação com a produção no pico e o tempo para atingir este pico, por isso no modelo de Wood (1967) a persistência é calculada como: $PER = [-(b+1)\ln(c)]$.

As análises foram realizadas utilizando-se dos procedimentos NLIN, através do SAS (2000). As estimativas dos parâmetros foram feitas pelo processo iterativo pelo método de Gauss-Newton, utilizando-se o procedimento NLIN (SAS, 1999). O modelo de Wood foi avaliado para as lactações médias.

Para a escolha do melhor modelo, utilizou-se o gráfico de distribuição de resíduo, a média dos desvios absolutos (MDA), o quadrado médio do resíduo (QMR) e a comparação das curvas estimada e observada por avaliação visual. O QMR foi corrigido dividindo-se a soma de quadrados do resíduo, obtida pela análise de

variância, pelo número de observações, em uma estimativa de máxima verossimilhança. Esse procedimento foi feito para que se pudesse comparar o QMR dos diferentes modelos, em razão da existência de um modelo com número diferente de parâmetros (Sarmiento et al., 2003).

Os modelos foram também comparados por meio do coeficiente de determinação corrigido para o número de parâmetros do modelo. O coeficiente corrigido foi utilizado pelo fato de que, quanto maior o número de parâmetros do modelo, menor o grau de liberdade do resíduo e maior a soma de quadrados do modelo de regressão. Draper & Smith (1981) propuseram a seguinte fórmula: $R_{aj}^2 = \frac{(n-1)R^2 - p}{n-p-1}$ em que R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado; p = número de parâmetros do modelo; n = número de observações; e R^2 = coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A duração da lactação média nas diferentes idades ao parto consideradas neste estudo variou entre 180 e 203 dias, valores similares a outros estudos (VERNEQUE, 1982; MAGNABOSCO et al., 1993; MELO et al., 2000). A produção de leite acumulada até os 305 dias (P305) foi estimada com base nas produções de leite no dia do controle, sendo que para vacas com duração da lactação menor a 305 dias, a P305 foi igual a produção de leite total na lactação. O número médio de partos por vaca foi de 2,6 com intervalo de partos médio de 444 dias. Resultados similares para o intervalo de partos para a mesma raça também foram observados por BALIEIRO et al. (1999).

Na Tabela 1 a produção inicial foi de 18,33 kg e apresentou aumento até o pico da lactação 19,76 kg, que ocorreu entre 31 e 60 dias da lactação e depois decresceu com o avanço da lactação da raça Girolando. Valores de produção inferiores aos apresentados nesse trabalho foram observados por Freitas (2003), onde verificaram uma produção inicial de 14,15 kg e produção no pico de 14,45 kg e por Chaves (2015) que relatou produção inicial de 14,62 kg e um discreto aumento até o pico de 14,72 kg que ocorreu entre 36 e 65 dias da lactação em vacas da raça Girolando, tardiamente comparado com os resultados desse trabalho.

A média para P305 foi de 3189,10 kg, superior ao apresentado por Freitas (2003) avaliando o desempenho produtivo de bovinos da raça Girolando, observaram produções de leite aos 305 dias de 2969,55 kg e Herrera et al. (2008) relataram médias de produção de leite aos 305 dias de 2179,24 kg em vacas da raça Girolando. Já Torquato et al. (2012) encontrou média de 3.114 kg com desvio de 428 kg, considerando primeira até terceira ordem de parto, provando que existe variação das produções dentro da própria raça e no próprio animal influenciáveis por vários fatores, como ordem de parto, grupo genético, idade da vaca, manejo, nutrição e etc.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros das funções Wood (WD) e Wilmink (WL) de vacas de primeira ordem de parto da raça Girolando

Parâmetros das funções WD				
	a	b	c	R ² A(%)
1/4	1,407	0,763	0,000	67,08
1/2	0,511	0,105	0,000	69,83
5/8	0,295	0,865	0,000	65,84
3/4	0,627	0,100	0,000	70,70
7/8	1,137	0,110	0,000	72,89
Parâmetros das funções WL				
	a	b	c	R ² A(%)
1/4	0,445	0,189	-0,593	65,77
1/2	0,524	0,031	-0,454	65,07
5/8	0,630	0,042	-0,818	61,04
3/4	0,530	0,027	-0,626	66,28
7/8	0,517	0,092	-0,549	67,85

Os parâmetros estimados pelos modelos, juntamente com os coeficientes de determinação ajustados para os grupos genéticos (1/4, 1/2, 5/8, 3/4 e 7/8) das vacas de primeira lactação podem ser observados na Tabela 2.

A função de Wood apresentou os parâmetros positivos comparado com a função de Wilmink, o parâmetro(a) oscilou de 0,29 a 1,4, o parâmetro(b) variou 0,1 a 0,8 e o parâmetro(c) foi igual a zero para todos os grupos. Enquanto a função de Wilmink apresentou valores negativos para o parâmetro(c). Os parâmetros dos

grupos da função de Wood foram maiores que os valores apresentados para função de Wilmlink, exceto o parâmetro(a) do grupo 5/8.

Os modelos com coeficiente de determinação ajustado R_{aj}^2 elevados apresentam os resultados mais satisfatórios, por explicar quanto as variáveis utilizadas no estudo influenciam a variação total da produção de leite. Observou-se que o modelo de Wood (1967) apresentou os maiores valores de R_{aj}^2 variando de 0,65 a 0,72. E que o grupo genético 5/8 foi o que apresentou os piores ajustes, verificando-se o menor valor de R_{aj}^2 61% na função de Wilmlink. Os grupos ¾ e 7/8 apresentaram os maiores valores (70 e 72% respectivamente) na função de Wood. Os modelos apresentaram R_{aj}^2 menor que 80%, devido à dificuldade em determinar o pico de produção, tornando o ajuste menos eficaz, pois as vacas primíparas apresentar um pico menos acentuado do que vacas de maiores ordens de parto.

Os valores de R_{aj}^2 apresentado nesse trabalho foram inferiores aos observados por Glória et al. (2010), avaliando vacas de mesma composição genética, encontraram valores próximos de 90%. Porém Cunha et al. (2010), observaram valores de R_{aj}^2 igual a 81,8%, para animais F1 Holandês-Zebu, indicando que esse modelo pode ser utilizado nos estudos de produção de leite para esse cruzamento. Gonçalves et al. (2002) obtiveram valores de 99,99% para o modelo de Wood (1967) no ajuste de curvas de lactação de vacas Holandesas, indicando que o modelo ajusta os dados de produção de leite daqueles animais. De maneira diferente, Oliveira et al. (2007) observaram que o modelo Wood não foi adequado para vacas F1 Holandês-Gir quando ajustou os registros produtivos, pois verificaram que os valores R_{aj}^2 variaram de 13 a 43%.

Tabela 3 – Valores de produção inicial, produção de leite no pico de lactação, tempo para atingir o pico e persistência na lactação, estimados pelo modelo de Wood.

Parâmetros do modelo				
Modelo	Produção inicial (kg)	Produção no pico (kg)	Tempo para atingir o pico	Persistência
$Y = an^b e^{-cn}$	12,2272	24,1843	68,9583	7,0836

Os animais de primeira lactação (tabela 3) demoraram a atingir o pico de produção (68,95 dias) e apresentaram maiores valores de persistência na lactação

(7,08) comparado aos valores encontrados por Jacopini et al. (2016) que apresentou o pico de produção entre 38,54 a 50,40 dias e persistência da lactação entre 6,463 a 6,668. De acordo com El Faro & Albuquerque (2002) a persistência é um parâmetro que não tem unidade e seus maiores valores absolutos indicam maior persistência, o que permitiria uma comparação direta entre animais de interesse.

Glória et al. (2010), observaram vacas mestiças Holandês-Zebu, mais persistentes. Fato este que pode ser explicado pela correlação entre pico e persistência da Tabela 4 que apresenta os resultados dos coeficientes de correlação. A persistência(b) foi positivamente correlacionada com o tempo de atingir o pico(a) (0,83), isso mostra que animais que alcançam o pico de produção mais tardiamente tendem a ser mais persistentes. Resultados semelhantes foram encontrados por Tekerli et al. (2000) e Albarrán-Portillo & Pollott (2011) em vacas de lactação. Enquanto que a correlação entre a persistência(b) e a produção máxima(c) foi negativa (-0,93). Isso está de acordo com Tekerli et al. (2000), onde animais que expressam elevada produção no pico tendem a apresentar maior taxa de decréscimo após a produção máxima.

Tabela 4 – Matriz dos coeficientes de correlação entre os parâmetros do modelo: produção diária no início da lactação (a), inclinação da fase ascendente até o pico de produção (b), e inclinação da fase descendente após o pico de produção (c).

	a	b	c
a	1.0000000	-0.9799904	0.8364826
b	-0.9799904	1.0000000	-0.9231767
c	0.8364826	-0.9231767	1.0000000

A persistência e o pico de lactação foram relatados como as principais características para descrever a curva de lactação, o pico é a produção máxima, normalmente observada de 30 a 90 dias pós-parto e altamente correlacionada ($r = 0,78$) com a produção total aos 305 dias (Dias, 2011).

Vacas com maior persistência são menos afetadas pelo estresse fisiológico devido a menor produção no pico de lactação, o que diminui problemas reprodutivos, doenças metabólicas e têm requerimentos energéticos mais constantes em toda a lactação. Apresentando também maior produção de leite, maior longevidade e podem ser consideradas produtoras mais eficientes, uma vez que fornecem retorno econômico (Jacopini et al. 2016).

Sendo a persistência na lactação uma característica de importância econômica, uma maneira de reduzir os custos da produção de leite é por meio da melhoria do nível de persistência na lactação das vacas, pois os ganhos obtidos adicionais pelo o diferencial na produção de leite e da vida útil desses animais, da diminuição dos gastos com alimentação e tratamentos de doenças e da melhoria da eficiência reprodutiva dos animais.

CONCLUSÃO

A comparação do formato da curva de lactação contribui para o melhor manejo do sistema produtivo e nutricional, auxiliando na identificação de animais precoces com objetivo de aprimorar a genética do rebanho. O modelo de Wood proporcionou melhor ajuste às curvas de lactação a partir de lactações incompletas, nos diferentes graus de sangue da raça Girolando, e pode ser usado para estimar a produção inicial, pico de lactação e persistência de lactação.

REFERÊNCIAS

- ALBARRAN-PORTILLO, B. & POLLOTT, G. E. Environmental factors affecting lactation curve parameters in the United Kingdoms commercial dairy herds. Arch. med. vet. [online]. 2011, vol.43, n.2, pp.145-153. ISSN 0301-732X.
- BALIEIRO, E.S.; PEREIRA, J.C.C.; VERNEQUE, R.S. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e de tendência fenotípica, genética e de ambiente de algumas características reprodutivas na raça Gir. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.51, n.4, p.371-376, 1999.
- CHAVES, L. C. S. 2005. Avaliação da persistência de lactação em vacas Girolando sob o modelo de regressão aleatória. Universidade Federal de Viçosa.
- CUNHA, D.N.F.V.; PEREIRA, J.C.; ILVA, F.F.; CAMPOS, O.F.; BRGA, J.L. MARTUSCELO, J.A. 2010. Selection of models of lactation curves to use in models of 590 milk production simulation systems. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, p. 891-591 202.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York: Wiley, 1981.
- EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L. G. 2003. Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle com diferentes estruturas de variâncias residuais. R. Bras. Zootec. V.32. n.5. p1104-1113.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA 2016. Gado do Leite – Importância Econômica. Disponível em <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/importancia.html>>.

FREITAS, M. S. 2003. Utilização de modelos de regressão aleatória na avaliação genética de animais da raça Girolando. Universidade Federal de Viçosa. Fev.

GLÓRIA, J.R.; BERGMANN, J.A.G.; QUIRINO, C.R.; RUAS, J.R.M.; MATOS, C.R.A.; PEREIRA, J.C.C. 2010. Curvas de lactação de quatro grupos genéticos de mestiças Holandês-Zebu. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.10, p.2160-2165.

GONÇALVES, T. M.; OLIVEIRA, A. I. G.; FREITAS, R. T. F.; PEREIRA, I. G. 2002. Curvas de Lactação em Rebanhos da Raça Holandesa no Estado de Minas Gerais. Escolha do Modelo de Melhor Ajuste¹. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 31, n.4, p. 1689-1694.

HERRERA, L.G.G.; FARO, L.E.; ALBUQUERQUE, L.G. et al. 2008. Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.9, p.1584-1594.

JACOPINI, L. A.; BARBOSA, S. B. P.; LOURENÇO, D. A. L.; SILVA, M. V. G. B. 2016. Desempenho produtivo de vacas Girolando estimado pelo modelo de Wood ajustado por metodologia bayesiana. Archives of Veterinary Science. V.21. n.3. p.43-54.

MAGNABOSCO, C.U., LÔBO, R.B., BEZERRA, L.A.F. et al. Estimate of genetic change in milk yield in a Gyr herd in Brazil. Rev. Bras. Genét., v.16, p.957-965, 1993.

MELO, R.R.C, FERREIRA J. E, MELLO, M.R.B. 2014. Persistência na lactação em bovinos. ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido, v. 10, n. 2, p. 18-22.

OLIVEIRA, H.T.V.; REIS, R.B.; GLÓRIA, J.R.; QUIRINO, C.R.; PEREIRA, J.C.C. 2007. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama incompleta. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 59, n. 1.

SARMENTO, J. L. R. et al. 2003 Comparação de modelos de regressão não-linear no ajuste da curva de crescimento de ovinos santa Inês In.: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia.

SILVA, M. V. G. B. et al. Programa de melhoramento genético da raça Girolando. Sumário de touros – Resultados do teste de progênie. Embrapa Gado de Leite, 74 p, 2015.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS -SAS. User's guide: statistics. Cary: 2000. (CD-ROM).

TEKERLI, M.; AKINCI, Z.; DOGAN, I. et al. Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balıkesir province of Turkey. Journal of Dairy Science, v.83, n.6, p.1381-1386, 2000.

TORQUATO, I. A.; EL FARO, L.; MASCIOLI, A. S. 2012. Curvas de lactações de fêmeas Girolando da Região Agreste de Pernambuco. IX Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal, João Pessoa, PB – jun.

VERNEQUE, R.S. Fatores genéticos e meio em características produtivas e reprodutivas de um rebanho Gir Leiteiro. Viçosa: UFV, 1982. 93p. (Tese, Mestrado).

WOOD, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. v. 216, p. 164-165.

WILMINK, J.B.M. 1987. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livest. Prod. Sci.*, 16, 335-348.

5 ARTIGO CIENTÍFICO II

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA PRODUÇÃO DE LEITE DE
VACAS DA RAÇA GIROLANDO POR MEIO DA REGRESSÃO ALEATÓRIA**

**Estimation of genetic parameters for test-day milk yield in Girolando cows
using a random regression model¹**

**Estimação de parâmetros genéticos para produção de leite no dia do teste em
vacas da raça Girolando utilizando modelo de regressão aleatória**

Ellen Pereira Borges Santos^{1*}, Giovani Luis Feltes², Renata Negri², Jaime Araújo
Cobuci³, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da Silva⁴

¹ Aluno de Pós-Graduação – Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus, BA

² Aluno de Pós-Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS

⁴ Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora, MG

*Corresponding Author: nellepbs@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the components of variance and genetic parameters of test-day milk yield in first-lactation Girolando cows, using a random regression model. A total of 126,892 test-day milk yield (TDMY) records of 15,351 first-parity Holstein, Gyr, and Girolando breeds cows were used, obtained from the Associação Brasileira dos Criadores de Girolando. To estimate the components of (co) variance, the additive genetic functions and permanent environmental covariance were estimated by random regression in three functions: Wilmink, Legendre Polynomials (third order) and Linear spline Polynomials (three knots). The Legendre polynomial function showed better fit quality. The genetic and permanent environment variances for TDMY ranged from 2.67 to 5.14 and from 9.31 to 12.04, respectively. Heritability estimates gradually increased from the beginning (0.13) to mid-lactation (0.19). The genetic correlations between the days of the control ranged from 0.37 to 1.00. The correlations of permanent environment followed the same trend as genetic correlations. The use of Legendre polynomials via random

¹ Artigo redigido segundo as normas do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. Artigo aceito em 23/09/2020.

regression model can be considered as a good tool for estimating genetic parameters for test-day milk yield records.

Keywords: genetic correlation, heritability, Legendre polynomials, Linear spline polynomials, Wilmink function

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar os componentes de variância e parâmetros genéticos da produção de leite no dia do teste (TDMY) em vacas Girolando de primeira lactação, usando modelo de regressão aleatória. Foram utilizados 126.892 registros de produção de leite no dia controle de 15.351 vacas primíparas das raças Holandesa, Gir e Girolando, obtidas na Associação Brasileira de Criadores de Girolando. Para estimar os componentes de (co) variância, as funções genéticas aditivas e de covariância ambiental permanente foram estimadas por regressão aleatória em três funções: Wilmink, Polinômios de Legendre (terceira ordem) e Polinômios Splines lineares (três nós). A função polinomial de Legendre apresentou melhor qualidade de ajuste. As variâncias genéticas e de ambiente permanente para produção de leite no dia do controle variaram de 2,67 a 5,14 e de 9,31 a 12,04, respectivamente. As estimativas de herdabilidade aumentaram gradativamente do início (0,13) para o meio da lactação (0,19). As correlações genéticas entre os dias do controle variaram de 0,37 a 1,00. As correlações de ambiente permanente seguiram a mesma tendência das correlações genéticas. A utilização dos polinômios de Legendre via modelos de regressão aleatória pode ser considerada como uma boa ferramenta para estimação de parâmetros genéticos da produção de leite no dia do teste.

Palavras-chave: correlação genética, função de Wilmink, herdabilidade, polinômios de Legendre, polinômios Splines Lineares

INTRODUCTION

Crossbreeding has been adopted for many years in Brazilian dairy farming as a strategy for genetic improvement to combine the high milk production capacity and

adaptability to tropical conditions. This strategy led to creation of Girolando breed (5/8 Holstein and 3/8 Gyr). Notable for their excellent productivity, Girolando and crossbred animals also stand out for their high fertility rates and good vigor. These traits made the breed conquer space and become predominant in dairy farms (Stafuzza *et al.*, 2017), representing 80% of milk production in Brazil (Nanzer, 2011).

Studies in the genetic field have been intensified due to importance of Girolando breed for tropical regions. Mathematical models applied in genetic evaluations of sires and cows seek to describe the different lactation curves and allow studying genetically the components of lactation. For this, the methodology that evaluates production on test-day through random regression models (RRM) has been widely used to improve the quality of genetic assessments (Herrera *et al.*, 2008). Associated with different mathematical functions in the most accurate search to infer genetically about the breed, the RRM methodology allows estimating genetic parameters, predicting breeding values, and identifying the most efficient and profitable genotypes (Daltro *et al.*, 2020), thus allowing higher genetic gains.

According to Schaeffer (2004), one of great advantages of RRM is to adjust the random lactation curve for each animal, expressing it as a deviation from an average curve of the population or a group of individuals. The regressions are adjusted using functions and trajectory modeling for the population average (fixed regression) and animal (random regression). Using complete lactation curve to select genetically animals has been a complex task in recent decades, the option is to investigate the feasibility of selecting specific patterns of lactation curves or derived traits (Oliveira *et al.*, 2019).

In addition to testing mathematical functions, already tested in other breeds but little investigated in Girolando breed, the demand is to improve the efficiency of genetic evaluations and simplify the animal selection process.

Thus, this study aimed to estimate the variance components and genetic parameters of test-day milk yield in first-lactation Girolando animals, by adjusting for Wilmink functions, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials, using a random regression model.

MATERIALS AND METHODS

The test-day milk yield (TDMY) records were obtained from the Brazilian Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, Brazil. The animals were of the

Holstein (H), Gyr (G), and Girolando breeds: 1/4H:3/4G (1/4H), 3/8H:5/8G (3/8H), 1/2H:1/2G (1/2H), 5/8H:3/8G (5/8H), 3/4H:1/4G (3/4H), 7/8H:1/8G (7/8H), and the pure synthetic (PS) from the crossing of parents (5/8H). Animals from these groups are officially called Girolando in Brazil.

Some restrictions were made in animal observations to improve the quality of information and consistency of analyses. Only the first-parity order was considered. Extreme records of milk yield (<4 or >40 kg), age at first calving (<22 or >48 months), days in milk (DIM, <5 or >305 days), and number of individual controls (<4) were excluded from the data set.

Contemporary groups (herd-year-season, HYS) considered four age classes (21 to 25 months; 26 and 27 months; 28 and 29 months, and over 29 months) and two calving seasons (rainy and dry). The minimum size of each contemporary group was three animals. Records of daughters of sires with at least one daughter in at least three herds were accepted to evaluation.

Following these criteria, a total of 126,892 TDMY records from 15,351 first lactations, collected between 1990 and 2014, were analyzed. This database was used to adjust all the evaluated functions. The structure of the data set after editing is summarized in Table 1.

Table 1. Description of database of the first lactation of Brazilian Holstein, Gyr and Girolando cattle

Information	Statistics
Animals in pedigree file	36,740
Dams in pedigree file	18,033
Sires in pedigree file	4,011
Animals with records	15,351
H	346
G	84
1/2H	3,762
1/4H	479
3/4H	5,466
3/8H	580
5/8H	2,871
7/8H	1600
PS	163
Contemporary groups	2,928
Test-day records	12,892

Mean records/animal
Milk yield mean, kg/day

8.26
17.06 ± 6.74

The analyses were performed using a random regression animal model in which the effects of the contemporary group and genetic group how fixed effects and the covariates cow age at calving as linear and quadratic effects, in addition to the average lactation curve of the population. The random, additive genetic, and permanent environmental effects of the animal were modeled using the Wilmink parametric function, Legendre polynomials or Linear spline polynomials, and the fixed trajectory.

1. Wilmink (Wilmink, 1987):

$$y_t = a + be^{-kt} + ct$$

where y is the TDMY, t is the DIM, a is the initial milk yield, b is the increase in milk yield until the peak lactation, and c the decrease in milk yield after the peak. The k parameter is related to the time of peak lactation and usually assumes a fixed value, derived from a preliminary analysis carried out on the average yield.

2. Legendre polynomial (Kirkpatrick *et al.*, 1994):

$$y_t = \sum_{i=0}^n \alpha_i \Phi_i(d_t^*)$$

where, d_t^* represents the standardized time unit, which varies from -1 to $+1$, that is,

$$d_t^* = -1 + 2 \left(\frac{d_t - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \right),$$

in which d_{\min} and d_{\max} are the lowest and highest days of

lactation that can be found in the data set, respectively; and d_t is the DIM. The standardized DIM can be defined as:

$$\Phi_{(d_i^*)i} = \frac{1}{2^i} \sqrt{\frac{2i+1}{2}} \sum_{m=0}^{i/2} (-1)^m \binom{i}{m} \binom{2i-2m}{i} (d_i^*)^{i-2m}$$

where, d_i^* is the i -th DIM, i is the order of Legendre function (third degree in this study), and m is the number of indices needed to determine the polynomial.

3. Linear spline (Misztal, 2006):

Let T be a vector of n knots, then the covariates of linear spline for DIM $t(\Phi_i(t))$ located between the T_i and T_{i+1} knot can be calculated as:

$$\Phi_i(t) = \frac{t - T_i}{T_{i+1} - T_i}, \quad \Phi_{i+1}(t) = \frac{T_{i+1} - t}{T_{i+1} - T_i} = 1 - \Phi_i(t), \quad \text{and } \Phi_{1\dots i-1, i+2\dots n} = 0$$

if $t = T_i$, $\Phi_i(t) = 1$, and $\Phi_{1\dots i-1, i+2\dots n} = 0$. The vector Φ of the DIM t has at most two non-zero elements, and the sum of all elements of the vector is equal to 1. The formula above assumes that $T_i \leq t < T_{i+1}$. In this case, 3 knots {5, 45, 305} were considered.

The residual variance was considered homogeneous for all functions. All analyses of variance components were estimated using the restricted maximum likelihood method, using the software REMLF90 (Misztal *et al.*, 2002). The quality of fit of mathematical functions was compared using the Akaike's information criterion (AIC = $-2\log L + 2p$, where p is the number of parameters in the model); Schwarz's Bayesian information criterion (BIC = $-2\log L + p \log(\lambda)$, in which $\log(\lambda)$ is the natural logarithm of the sample size (or dimension of y) and p is the number of parameters in the model); and the log-likelihood function ($-2\log$).

The heritability estimates for trait on the different DIM and the genetic and permanent environmental correlations between different DIM was estimated and plotted graphically to verify which of them were in accordance with the previously reported estimates for the same trait but other breeds or populations.

RESULTS AND DISCUSSION

Lower values of likelihood function, AIC and BIC were calculated for the model that considered the parametric function of Legendre polynomials, indicating it is the best model to be considered in the genetic evaluation of TDMY for animals of the Girolando breed (Table 2). AIC takes into considers the complexity and predictive capacity of the data fit model, and although the models have the same number of parameters, BIC also indicated the Legendre polynomial function as the most appropriate. Moreover, a substantial difference was observed in the goodness-of-fit values between the tested models.

The result corroborates with that obtained by Canaza-Cayo *et al.* (2015), who recommended to use the Legendre function, third order for genetic additive effect e fifth order about permanent environmental to describe changes in the components of (co)variance of milk yield during lactation of Girolando cows, as it is the most plausible in the specification of additive genetic effects and permanent environmental effects.

Table 2. Values of tests of goodness of fit obtained by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials

Model	P	-2log	AIC	BIC
Wilmink	11	354449	708914	708992
Legendre	11	353873	707768	707875
Spline	11	353999	708016	708104

P: number of estimated parameters; -2log: log-likelihood function; AIC: Akaike information criterion; BIC: Schwarz Bayesian information criterion.

The heritability estimates for TDMY during lactation varied little in the model using the Legendre polynomials (Figure 1). In this case, the highest heritability values were identified in the intermediate lactation period (125 to 185 days). Heritability for milk yield accumulated at 305 days was estimated at 0.26. The same behavior was observed for the genetic and permanent environmental variances during lactation.

Considering the models with the Linear spline and Wilmink functions the heritability estimates for TDMY decreased after the beginning of lactation. However, the Linear spline function showed a higher variation, where the heritability estimates remained very low during the peak lactation phase. The heritability estimates for milk yield accumulated at 305 days were 0.16 and 0.27 for Linear spline and Wilmink functions, respectively. The genetic and permanent environmental variances showed the same graphic behavior, being smaller at the beginning of lactation, highlighting the highest influence of environmental factors at this phase.

An important factor is that extrapolation of estimates, may also be associated with the low number of phenotypic observations collected in the initial period of lactation (Meyer, 1998). In fact, its association with the effects of permanent environmental and residual variance leads to a bias in the heritability estimates at the beginning of the lactation. The differences between estimates may be associated with the mathematical functions used in the analyses, as the same database was used.

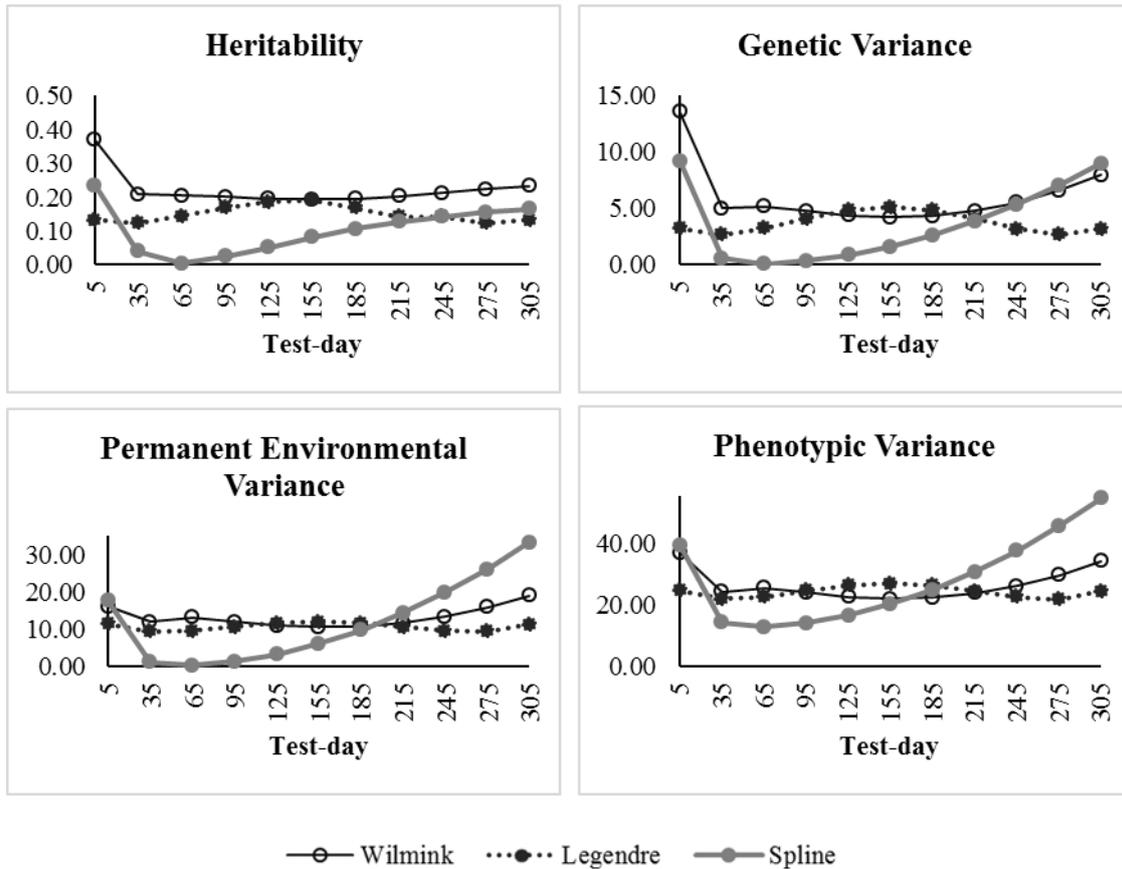


Figure 1. Heritability estimates and variances for test-day milk yield (TDMY) for Girolando cattle (Holstein x Gyr) by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials

The heritability estimates obtained in this study for the Girolando breed are within the range of magnitude of values observed in the literature for several dairy breeds. Freitas *et al.* (1996) used the production model of up to 305 days and obtained a heritability estimate of 0.26 for crossbred Holstein-Gyr cows. On the other hand, Facó *et al.* (2009) identified heritabilities from 0.24 to 0.31 for milk yield in the Girolando breed through an animal model that included only the cow genetic group. Canaza-Cayo *et al.* (2015) estimated heritability from 0.18 to 0.23 and 0.23 to 0.29, respectively, for this breed through the random regression.

Cobuci *et al.* (2005) used the production data on the test-day of Holstein animals and obtained heritability estimates between 0.15 and 0.31. On the other hand, Costa *et al.* (2005) used information from Gyr animals and estimated heritability from 0.20 to 0.70. Jamrozik and Schaeffer (1997) used the Wilmink function in random regression models to estimate the heritability of Holstein cattle in Canada and obtained a high

estimate (0.38) at the beginning of lactation.

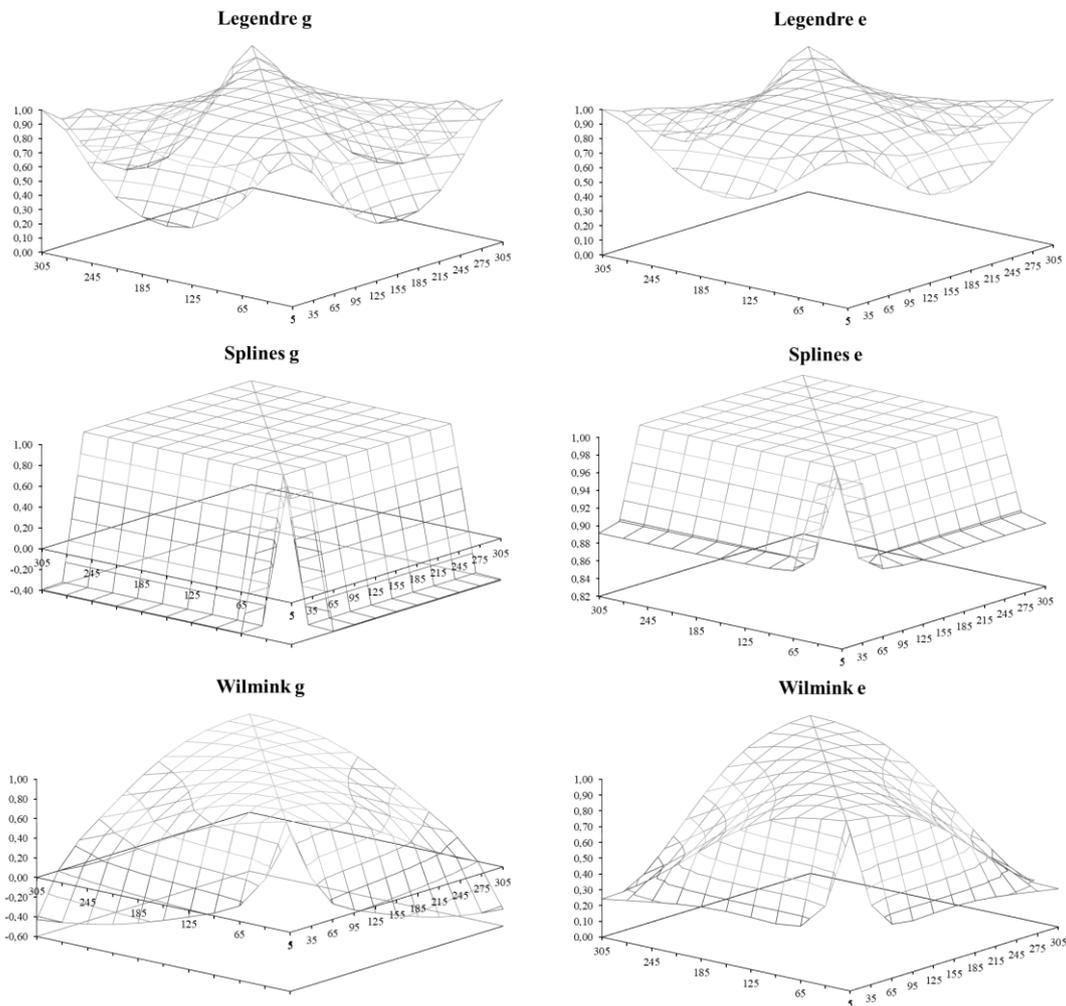


Figure 2. Genetic (g, on the right) and permanent environmental correlations (e, on the left) for test-day milk yield (TDMY) for Girolando cattle (Holstein x Gyr) by random regression models using the Wilmink function, Legendre polynomials, and Linear spline polynomials

Genetic correlations between the test-days estimated by the different functions ranged from 0.37 to 1.00 by Legendre, -0.43 to 0.99 by Wilmink, and -0.38 to 1.00 by Linear spline polynomials (Figure 2). The highest correlation estimates were found among adjacent controls, while the lowest, or intermediate and negative estimates were observed among the most distant controls.

The genetic correlation estimated through the Legendre polynomials was similar, in terms of magnitude, to the estimates reported by Pereira *et al.* (2013) for Gyr breed animals and Gyr x Holstein crossbreed animals, Herrera *et al.* (2008) for

Gyr, and Padilha *et al.* (2019) for Holstein animals. Genetic correlations are estimates of great importance in well-structured breeding programs. Positive and high genetic correlations indicate that the selection to increase milk yield at a given lactation stage may have a positive influence on the other lactation stages, and thus provide greater gains in response to selection.

Using Wilmlink or Ali and Schaeffer functions to model fixed and random regressions for milk production in Gyr cattle, Pereira *et al.* (2010) found negative genetic correlations between the TDMY at the beginning and end of lactation, which would be due to the bovine somatotropin application associated with the preferential treatment of animals in some herds. Negative correlations between the extreme points of the lactation curve were reported by Canaza-Cayo *et al.* (2015) for Girolando animals.

Low or negative genetic correlations are not expected and indicate that this model has not been properly adapted to the data structure. This behavior is not expected in biological terms and has been attributed to the poor fit of the random regression model at the extreme points of the curve, probably due to the low number of observations during these periods (Meyer, 1999). In this sense, the Legendre polynomial function presents greater flexibility and practical applicability to estimate genetic component for test-day milk yield using random regression.

The permanent environmental correlations between the test-days estimated by the different functions ranged from 0.58 to 0.99 by Legendre, 0.24 to 0.99 by Wilmlink, and 0.89 to 1.00 by Linear spline polynomials. The highest estimates of correlations were found among adjacent controls, while the lowest estimates were observed among the most distant controls. Pereira *et al.* (2013) reported similar results for Gyr animals and the crossing between Gyr x Holstein.

Statistically and biologically, the inference to the permanent environment component is more complex when compared to the direct genetic component. According to Canaza-Cayo *et al.* (2015), a delicate factor when it comes to genetic estimation in Girolando cattle is the influence of the short period of lactation, typical of *Bos indicus* animals. That is why the impact between the controls is easily observed, whether they are adjacent or distant.

CONCLUSION

The results of this study show that third-order Legendre polynomials are the best alternative among functions with three parameters to be estimated. The heritability estimates and genetic and permanent environmental correlations estimated by this model are consistent with previous reports in the literature.

REFERENCES

NANZER, T.A.D.T. Produção de leite no Brasil e participação da genética Girolando com ênfase em reprodução. Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, 2011. Disponível em: <<http://www.girolando.com.br/index.php?paginasSite/tecnico,39>>. Acessado em 12 out. 2019.

CANAZA-CAYO, A.W.; LOPES, P.S.; SILVA, M.V.G.B. *et al.* Genetic parameters for milk yield and lactation persistency using random regression models in Girolando cattle. *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, v.28, p.1407-1418, 2015.

COBUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; LOPES, P.S. *et al.* Estimation of genetic parameters for test-day milk yield in Holstein cows using a random regression model. *Genet. Mol. Biol.*, v.28, p.75-83, 2005.

COSTA, C.N.; MELO, C.M.R.; MACHADO, C.H.C. *et al.* Parâmetros Genéticos para a Produção de Leite de Controles Individuais de Vacas da Raça Gir Estimados com Modelos de Repetibilidade e Regressão Aleatória. *Rev. Bras. Zootec.*, v.34, p.1519-1530, 2005.

DALTRO, D.S.; SILVA, M.V.G.B.; TELO DA GAMA, L. *et al.* Estimates of genetic and crossbreeding parameters for 305-day milk yield of Girolando cows. *Ital. J. Anim. Sci.*, v.19, p.86-94, 2020.

FACÓ, O.; MARTINS FILHO, R.; LOBO, R.N.B. *et al.* Efeito da redução da variação da duração de lactação na avaliação genética de bovinos leiteiros mestiços. *Rev. Cienc. Agron.*, v.40, p.287-292, 2009.

FREITAS, A.F.; TEIXEIRA, N.M.; VALENTE, J. Fatores genéticos e de ambiente sobre características produtivas e reprodutivas em rebanhos de animais mestiços. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1996, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBZ, p.59-60, 1996 (Resumo).

HERRERA, L.G.G.; EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. *Rev. Bras. Zootec.*, v.37, p.1584-1594, 2008.

JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L.R. Estimates of Genetic Parameters for a Test Day Model with Random Regressions for Yield Traits. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.762-770, 1997.

KIRKPATRICK, M.; HILL, W.G.; THOMPSON, R. Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactations in dairy cattle. *Genet. Res.*, v.64, p.57-69, 1994.

MEYER, K. Estimating covariance functions for longitudinal data using a random regression model. *Genet. Sel. Evol.*, v.30, p.221-240, 1998.

MEYER, K. Estimates of genetic and phenotypic covariance functions for postweaning growth and mature weight of beef cows. *J. Anim. Breed. Genet.*, v.116, p.181–205, 1999.

MISZTAL, I. Properties of random regression models using linear splines. *J. Anim. Breed. Genet.*, v.123, p.74–80, 2006.

MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; STRABEL, T. *et al.* BLUPF90 and related programs (BGF90). In: 7TH WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 2002, Montpellier. *Proceedings...* CD-ROM Communication N° 28-07. Montpellier, France; 2002.

OLIVEIRA, H.; BRITO, L.; SILVA, F. *et al.* Genomic prediction of lactation curves for milk, fat, protein, and somatic cell score in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, v.102, p.452-463, 2019.

PADILHA, A.H.; ALFONZO, E.P.M.; DALTRO, D.S. *et al.* Genetic trends and genetic correlations between 305-day milk yield, persistency and somatic cell score of Holstein cows in Brazil using random regression model. *Anim. Prod. Sci.*, v.59, p.207-215 2019.

PEREIRA, R.J., AYRES, D.R., EL FARO, L. *et al.* Genetic parameters for production traits of dairy Gyr (*Bos indicus*) × Holstein cattle estimated with a random regression model. *Livest. Sci.*, v.158, p.24-31, 2013.

PEREIRA, R.J.; LOPES, P.S.; VERNEQUE, S. *et al.* Funções de covariância para produção de leite no dia do controle em bovinos Gir leiteiro Rodrigo. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.45, p.1303-1311, 2010.

SCHAEFFER, L.R. Application of random regression models in animal breeding. *Livest. Prod. Sci.*, v.86, p.35-45, 2004.

STAFUZZA, N.B.; ZERLOTINI, A.; LOBO, F.P. *et al.* Single nucleotide variants and InDels identified from whole-genome re-sequencing of Guzerat, Gyr, Girolando and Holstein cattle breeds. *PLoS One* 12, 1–15, 2017.

WILMINK, J.B.M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livest. Prod. Sci.*, 16, 335–348, 1987.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de Wood mostra um bom ajuste para descrever a lactação em bovinos da raça Girolando (R^2A 78,06). Foi estimada a produção inicial em 12,23 kg, produção no pico de 24,18 kg, 68,96 dias para atingir o pico e, persistência 7,08. Quanto à estimação dos parâmetros genéticos via regressão aleatória, a utilização de polinômios de Legendre de terceira ordem é a melhor alternativa para estimar a herdabilidade e correlação em bovinos Girolando. A herdabilidade para produção de leite variou de 0,12 a 0,19, em que os maiores valores foram relatados no meio da lactação. Enquanto que a correlação genética variou entre 0,37 a 1,0, os maiores valores foram relatados entre os períodos adjacentes e o início e o final da lactação.

REFERÊNCIAS

- ABCG - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE GIROLANDO. Regulamento do Serviço de Registro Genealógico da Raça Girolando. Uberaba. 2014 Disponível< <http://www.girolando.com.br/index.php?paginasSite/girolando,3,pt>> Acesso em: 02 fev. 2018.
- AL-SAMARAI, F. R. et al. Comparison of several methods of sires evaluation for total milk yield in a herd of Holstein cows in Yemen. **Open Veterinary Journal**, vol. 5, n. 1, p. 11-17, 2015.
- ARAÚJO, C. V. et al. Uso de funções ortogonais para descrever a produção de leite no dia de controle por meio de modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n.3, p.967-974, 2006.
- AZEVEDO JÚNIOR, J. Ajuste de curvas de lactação de Vacas da Raça Holandesa de Rebanhos do Estado de Minas Gerais. Departamento de Produção Animal, Universidade Federal de Lavras, 2014, 89p. Tese (Doutorado em Produção Animal).
- BORGES, A. M. et al. Reprodução de vacas mestiças: potencialidade e desafios. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.39, n.1, p.155-163, 2015.
- CANAZA-CAYO, A. W. et al. Estrutura populacional da raça Girolando. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p. 2072-p2077, 2014.
- CHAVES, L. C. S. Avaliação da persistência de lactação em vacas Girolando sob o modelo de regressão aleatória. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2005, 86p. Tese de Doutorado.
- COBUCI, J. A. et al. Curva de lactação na raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.1332-1339, 2000.
- COBUCI, J. A. et al. Aspectos genéticos e ambientais da curva de lactação de vaca da raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1204-1211, 2001.
- COBUCI, J. A. et al. Persistência na lactação – uma revisão. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.11, n. 3, p.163-173, 2003.
- COBUCI, J. A. et al. Análise de persistência na lactação de vacas da raça Holandesa, usando produção no dia do controle e modelo de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.546-554, 2004.
- CUNHA, D. N. F. V. et al. Selection of models of lactation curves to use in models of 590 milk production simulation systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.891-591, 2010.
- DALTRO, D.S. et al. Heterosis in the components of lactation curves of Girolando cows. **Italian Journal of Animal Science**, v.18, n.1, p. 50-63, 2019.
- DORNELLES. M. A. et al. Parâmetros genéticos para produção de leite no dia do controle de vacas da raça Holandesa utilizando modelos de análises de fatores e componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.6, p.1087-1092, 2015.
- EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L. G. Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle com diferentes estruturas de variâncias residuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1104-1113, 2003.

EFFA, K. et al. Genetic and environmental trends in the long-term dairy cattle genetic improvement programmes in the central tropical highlands of Ethiopia. **Journal of Cell and Animal Biology**, vol. 5, n. 6, p. 96-104, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Gado do Leite – Importância Econômica. Disponível em <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>> Acesso em 19 de maio de 2020.

FAO. Base de dados estatísticos da Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAOSTAT. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 12Jan. 2017.

FISHER, A. et al. Produção e produtividade de leite do oeste catarinense. *Race, Unoesc*, Vol. 10, n. 2, p. 337-362, 2011.

FREITAS, L. S. et al. Avaliação da persistência na lactação da raça Guzerá, utilizando modelos de regressão aleatória. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.2, p.401-408, 2010.

FREITAS, M. S. Utilização de modelos de regressão aleatória na avaliação genética de animais da raça Girolando. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2003, p.89. Tese de Doutorado.

GENGLER, N. Persistency of lactation yields: A review. Proc. Int. Workshop on Genetic Improvement of functional Traits in Cattle. **Interbull Bulletin**, v.12, p.97-102. 1996.

GLÓRIA, J.R. et al. Curvas de lactação de quatro grupos genéticos de mestiças Holandês-Zebu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.10, p.2160-2165, 2010.

GONÇALVES, T. M. et al. Curvas de Lactação em Rebanhos da Raça Holandesa no Estado de Minas Gerais. Escolha do Modelo de Melhor Ajuste. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1689-1694, 2002.

GONÇALVES, T. M. Estudo da curva de lactação de vacas da raça Gir. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 1994, p.66. Dissertação (Mestrado em Zootecnia).

HAHRBABAK, M. M. Feasibility of random regression models for Iranian Holstein test-day records. Department of Animal Science, 1997 138f. Thesis (PHD).

HERRERA L. G. G. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p.1584-1594, 2008.

JACOPINI, L. A. et al. Desempenho produtivo de vacas Girolando estimado pelo modelo de Wood ajustado por metodologia bayesiana. **Archives of Veterinary Science**, v.21, n.3, p.43-54, 2016.

JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L. R. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits for first lactation Holstein. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.4, p.762-772, 1997.

LEÃO, G. F. M. et al. Melhoramento genético em zebuínos leiteiros: uma revisão. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 9-14, 2013.

MAHADEVAN, P. The effect of the environment and heredity on lactation. II. Persistency of lactation. **Journal of Agricultural Science**, v.41, p.89-93, 1951.

- MESERET, S. et al. Genetic Analysis of Milk Yield in First-Lactation Holstein Friesian in Ethiopia: A Lactation Average vs Random Regression Test-Day Model Analysis. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, vol. 28, n. 9, p. 1226-1234, 2015.
- MELO, R. R. C. et al. Persistência na lactação em bovinos. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 2, p. 18-22, 2014.
- MOLENTO, C. F. M. et al. Lactation curves of Holstein cows in Paraná State, Brazil **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1585-1591, 2004.
- MOLENTO, C. F. M. et al. Lactation curves of Holstein cows in Paraná State, Brazil. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n.1, p. 216-226, 1996.
- MUIR, B. L. et al. Genetic relationships between persistency and reproductive performance in first lactation Canadian Holsteins. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.9, p.3029-3037, 2004.
- OLIVEIRA, H. T. V. et al. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama incompleta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.1, p.233-238, 2007.
- OLIVEIRA, M. R. A. et al. Modelagem ponderal de bovinos da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. **Acta tecnológica**, v.10, n.2, p.39-58, 2015.
- PAPAJCSIK, I. A.; BODERO, J. Modeling lactation curves of Friesian cow in a subtropical climate. **Animal Production**, v.47, n.2, p.201-207, 1988.
- PATÊS, N. M. S. et al. Aspectos produtivos e sanitários do rebanho leiteiro nas propriedades do sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, vol.13, n.3, p.825-837, 2012.
- 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.
- PRAKASH, V. et al. Estimation of genetic parameters for first lactation monthly test-day milk yields using random regression test day model in Karan fries cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 29, n.6, p.775–781, 2016.
- PRAKASH, V. et al. Random regression test-day milk yield models as a suitable alternative to the traditional 305-day lactation model for genetic evaluation of Sahiwal cattle. **Indian Journal of Animal Science**, v.87, n.3, p.340–344, 2017.
- REKAYA, R. et al. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.83, n.1, p.2691-2701, 2000.
- RODRIGUES, C. A.; NARDI JUNIOR. G. A Importância do controle leiteiro em pequenas propriedades. 5ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu – São Paulo, Brasil, 2016.
- SALGADO, L. F. et al. A raça Girolando: história, evolução e importância no cenário da pecuária leiteira nacional. Boletim técnico 19 – **Produção animal** (1ed). Descalvado, SP, 2016, 16p. ISSN 2318-3837.
- SANDERS, H. G. The shape of lactation curve. **Journal of Agricultural Science**, v.13, n.8, p.169-179, 1923.

- SHAHRBABA, M.M. 1997. Feasibility of random regression models for Iranian Holstein testday records. 138f. Thesis (PHD) – University of Guelph, Guelph, Canadá.
- SILVA, M. V. G. B. et al. Programa de Melhoramento Genético da Raça Girolando Sumário de Touros – Resultado do Teste de Progênie. Embrapa Gado de Leite, 64p, 2014.
- SILVA M. V. G. B. et al. Programa de melhoramento genético da raça Girolando. Sumário de touros – Resultados do teste de progênie. Embrapa Gado de Leite, 74 p, 2015.
- SOUSA JÚNIOR, S. C. et al. Aplicação de modelos de regressão aleatória utilizando diferentes estruturas de dados. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2058-2063, 2014.
- TORQUATO, I. A. et al. Curvas de lactações de fêmeas Girolando da Região Agreste de Pernambuco. IX Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal, 2012.
- USDA. Base de dados estatísticos da United States Department of Agriculture. Washington. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>. Acesso em: 23 mar. 2018.
- VARANIS, L. F. et al. Seleção de modelos não lineares para estimação da curva de lactação de vacas mestiças pelo método de análise de agrupamento. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p. 28-37, 2016.
- VERCESI FILHO, A. E. et al. Parâmetros genéticos entre características de leite, de peso e a idade ao primeiro parto em gado mestiço leiteiro (Bostaurus x Bosindicus). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, vol. 59, n. 4, p. 983-990, 2007.
- VILELA, D; RESENDE, J. C. Cenário para a produção de leite no brasil na próxima década. In: VI sul leite – Perspectivas para a produção de leite no brasil, II seminário dos centros mesorregionais de excelência em tecnologia do leite, Anais, Maringá, vol. 1, 2014.
- WOOD, P. D. P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, v.216, p.164-165, 1967.
- WILMINK, J.B.M. 1987. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. **Livest. Prod. Sci.**, 16, 335–348.