

Utilização dos polinômios de Legendre e da função de Wilink em avaliações genéticas para persistência na lactação de animais da raça Holandesa

[Use of Legendre polynomials and Wilink function in genetic evaluations for persistency of lactation in Holstein cows]

J.A. Cobuci¹, C.N. Costa², N.M. Teixeira², A.F. Freitas²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 7712 – Bairro São José
91540-000 – Porto Alegre, RS

²Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora, MG

RESUMO

Os registros de produção de leite de 11.023 primeiras lactações de vacas da raça Holandesa pertencentes a 251 rebanhos distribuídos no estado de Minas Gerais foram usados para comparar os polinômios de Legendre e a função Wilink em modelos de regressão aleatória (MRA) quanto aos seus efeitos na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos para nove medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias. Os modelos de regressão aleatória ajustados aos controles leiteiros entre o sexto e o 305^o dia de lactação incluíram o efeito de rebanho-ano-mês do controle, os parâmetros dos polinômios de Legendre de ordens 3 a 5 ou da função de Wilink, para modelar as curvas fixas da regressão dentro das subclasses de idade-estação de parto da vaca e os parâmetros dos polinômios de Legendre de ordens 3 a 5, para modelar os efeitos aleatórios genético-aditivo e permanente de ambiente. Os testes do critério de informação de Akaike e Bayesiano indicaram o modelo com maior número de parâmetros como o que melhor se ajustou aos dados de produção de leite. Observaram-se grandes variações nas estimativas de herdabilidade para a maioria das medidas de persistência na lactação, com uso dos modelos que envolveram ajustes dos polinômios de Legendre. As estimativas de herdabilidade variaram de 0,11 a 0,33 para produção de leite ao longo da lactação, de 0,33 a 0,36 para a produção de leite até 305 dias e de 0,00 a 0,32 para persistência na lactação. As correlações genéticas entre persistência e produção de leite até 305 dias diferiram com o modelo e a medida de persistência. A utilização da função de Wilink, comparada aos polinômios de Legendre, proporcionou mudanças expressivas na ordem dos animais quando classificados para persistência na lactação.

Palavras-chave: modelo de regressão aleatória, parâmetros genéticos, produção de leite, raça Holandesa, valor genético

ABSTRACT

Records of 11,023 first-parity Holstein cows belonging to 251 herds in the State of Minas Gerais were used to compare the Legendre polynomials and Wilink function in random regression models (RRM) as for their effects in the estimate of genetic parameters and prediction of breeding values for nine types of persistency measurements and 305-day milk yield. The random regression test day models included the effect of herd-year-month test day, parameters of the function of Wilink or 3th to 5th order Legendre polynomials to model fixed curves of the subclasses and 3th to 5th order Legendre polynomials to model genetic and permanent environmental effects. The Akaike's Information Criterion (AIC) and Bayesian

Information Criterion (BIC) indicated the model with larger number of parameters as the one that best fitted the data of milk yield. Using the Legendre polynomial model large variation was observed in the estimates heritabilities for most of the persistency measures. The estimates heritabilities varied from 0.11 to 0.33 to milk yield throughout the lactation, from 0.33 to 0.36 for the 305-day milk yield and, from 0.00 to 0.32 for persistency. Genetic correlations between persistency and 305-day milk yield differed according to the model and persistency measure. Compared the Legendre polynomials to the Wilmink function provided expressive changes in rank of animals for persistency of lactation.

Keywords: random regression model, genetic parameters, test day, Holstein cows, breeding value

INTRODUÇÃO

A seleção genética de bovinos de leite tem sido tradicionalmente realizada com intuito de aumentar a eficiência na produção de leite. Embora eficiente na realização de progresso genético, essa seleção tem resultado em redução na eficiência reprodutiva e no aumento da suscetibilidade dos animais a certas doenças. A inclusão de características funcionais, como fertilidade, saúde e longevidade, em programas de melhoramento, tem sido indicada para minimizar o efeito negativo da seleção para produção de leite sobre características reprodutivas e as relacionadas à saúde animal. Haile-Mariam et al. (2003) relataram que a seleção para persistência na lactação pode ajudar a minimizar esse efeito negativo. Além disso, a melhoria na persistência pode contribuir também para redução de custos de produção (Tekerli et al., 2000; Jakobsen et al., 2002; Cobuci et al., 2003).

A incorporação de características funcionais em programas de seleção justifica-se pelo fato de que essas têm impacto direto sobre a economicidade dos sistemas de produção. A implementação dos modelos de regressão aleatória (MRA) pode contribuir para que a persistência na lactação venha a ser considerada como uma das características funcionais passíveis de seleção. Os MRA permitem a predição do valor genético dos animais em qualquer fase da lactação, possibilitando, então, a realização da avaliação genética para persistência na lactação em substituição aos procedimentos tradicionais.

O uso dos MRA requer a escolha de uma função para ser usada na descrição dos efeitos fixos e aleatórios do modelo. Nesse sentido, vários

estudos têm sido realizados com objetivo de determinar as funções mais adequadas para serem usadas na modelagem desses efeitos (Olori et al., 1999; Brotherstone, 2000; Jakobsen et al., 2002). Dentre os polinômios ortogonais e as funções paramétricas, respectivamente, os polinômios de Legendre e a função de Wilmink têm sido os mais utilizados. Segundo Brotherstone (2000), as funções paramétricas descreveram melhor a curva de lactação, entretanto resultaram em correlações genéticas negativas entre produções no período inicial e final da lactação. Quando se ajustaram os polinômios de Legendre, essas correlações foram positivas ao longo de toda a lactação. Schaeffer (2004) relata que os polinômios ortogonais são os mais apropriados para serem usados, como covariáveis, pelos modelos de regressão aleatória.

Considerando sua importância econômica e a oportunidade de se incluir a persistência na lactação nos programas de seleção da raça Holandesa, este estudo teve o objetivo de comparar o uso dos polinômios de Legendre e da função de Wilmink na descrição dos efeitos fixos e aleatórios de modelos de regressão aleatória quanto aos parâmetros genéticos e aos valores genéticos preditos para persistência na lactação e na produção de leite até 305 dias.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 87.045 registros de produção de leite no dia do controle de primeiras lactações de 11.023 vacas da raça Holandesa, cujos partos ocorreram no período de 1997 a 2001, em 251 rebanhos supervisionados pelo Serviço de Controle Leiteiro da Associação dos Criadores de Gado Holandês de Minas Gerais. Os controles

individuais de produção de leite foram agrupados em quatro classes de idade da vaca ao parto, 20 a 24; 25 a 29; 30 a 34; e 35 a 48 meses, e em quatro estações de parto: janeiro a março; abril a junho; julho a setembro; e outubro a dezembro. Esses grupos foram combinados e constituíram 16 classes de idade-estação de parto da vaca. Nas análises, consideraram-se os controles leiteiros realizados entre o sexto e o 305º dia de lactação.

Na predição dos valores genéticos dos animais, para persistência na lactação e produção de leite até 305 dias, utilizou-se o seguinte modelo de regressão aleatória:

$$y_{ijkl} = RAMC_i + \sum_{m=1}^n \beta_{km} Z_{jlm} + \sum_{m=1}^n a_{jm} Z_{jlm} + \sum_{m=1}^n p_{jm} Z_{jlm} + e_{ijkl},$$

em que y_{ijkl} é o controle l da vaca j , no dia de controle da lactação, dentro das classes i (rebanho-ano-mês do controle) e k (idade-estação de parto da vaca); $RAMC_i$, efeito fixo de rebanho-ano-mês do controle; β_{km} , coeficientes de regressão fixos da produção de leite no dia do controle dentro das classes de idade-estação de parto da vaca; a_{jm} e p_{jm} , coeficientes de regressão aleatória que descrevem, respectivamente, os efeitos genético-aditivo e permanente de ambiente; e_{ijkl} , efeito aleatório residual associado a y_{ijkl} ; Z_{jlm} representa o termo m do polinômio de Legendre de ordem n ou da função de Wilmink, utilizados na descrição dos efeitos genético e permanente de ambiente, assim como na modelagem de 16 curvas fixas (médias) das produções de leite dos animais pertencentes às classes de idade da vaca-estação do parto. A variância residual foi considerada constante ao longo do período de lactação.

As medidas de persistência estudadas neste trabalho e seus respectivos autores encontram-se na Tab. 1. O valor genético para produção de leite, considerando-se a lactação completa (em 305 dias) a partir da produção de leite no dia do controle, é obtido pela soma dos valores genéticos em cada dia t da lactação, conforme a equação:

$$P_{305} = \sum_{t=6}^{305} Vg_t$$

Tabela 1. Medidas de persistência na lactação e seus respectivos autores

Medida de persistência	Autor
$PS_1 = (Vg_{280} - Vg_{60})$	Jamrozik et al.(1997)
$PS_2 = \left(\sum_{t=106}^{205} Vg_t - \sum_{t=6}^{105} Vg_t \right)$	Jakobsen et al.(2002)
$PS_3 = \left(\sum_{t=206}^{305} Vg_t - \sum_{t=6}^{105} Vg_t \right)$	Jakobsen et al.(2002)
$PS_4 = \sum_{t=61}^{280} (Vg_t - Vg_{60})$	Jamrozik et al.(1997)
$PS_5 = \sum_{t=60}^{279} (Vg_t - Vg_{280})$	Jakobsen et al.(2002)
$PS_6 = (Vg_{290} - Vg_{90})$	Cobuci et al.(2004)
$PS_7 = \left(\frac{1}{51} \sum_{t=255}^{305} Vg_t - \frac{1}{21} \sum_{t=50}^{70} Vg_t \right)$	Kistemaker (2003)
$PS_8 = \left(\sum_{t=101}^{300} Vg_t - (300-100)Vg_{100} \right)$	Pösö (2003) ¹
$PS_9 = \left(\sum_{t=61}^{305} Vg_t - (305-60)Vg_{60} \right)$	De Roos et al. (2001)

Vg_t - valor genético no período t (em dias) da lactação.

Os modelos ajustados aos dados da produção de leite no dia do controle receberam as denominações WIL, LEG3, LEG4 ou LEG5 quando se utilizaram, respectivamente, as funções de Wilmink, os polinômios de Legendre de ordens 3, 4 ou 5 para descrição das partes fixa e aleatória. As outras denominações foram WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4, em que o primeiro código representa a função usada para a parte fixa e os posteriores, a parte aleatória (efeito genético-aditivo e permanente de ambiente, respectivamente).

Para ajustamento dos polinômios de Legendre, procedeu-se, primeiramente, à padronização dos dias em lactação (t) para que apresentassem magnitudes entre -1 e 1, conforme proposto por Kirkpatrick et al. (1990).

As matrizes de variâncias e covariâncias dos coeficientes de regressão (genético-aditivo e permanente de ambiente) e as soluções genéticas aditivas, necessárias, respectivamente, para o cálculo das herdabilidades e dos valores genéticos, foram obtidas por meio do programa REMLF90 (Misztal, 2001). Definiu-se como critério de convergência a diferença entre o valor

¹ Poso (2003) citado por Kistemaker (2003) – comunicação pessoal

de $-2\log$ da função de verossimilhança, obtido em iterações consecutivas, menor que 10^{-9} . As estimativas de herdabilidade para as diferentes medidas de persistência e produção de leite até 305 dias foram calculadas como descrito por Cobuci et al. (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises da qualidade do ajustamento dos modelos encontram-se na Tab. 2. Houve tendência de melhoria na qualidade dos ajustes com aumento do número de parâmetros

do modelo, o que pode ser verificado pela redução dos valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC). As variâncias residuais obtidas com os modelos WIL, LEG3, LEG4, LEG5, WIL/LEG4-LEG4 e LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4 foram 7,16, 9,53, 6,01, 5,57, 5,85, 5,57 e 5,58 kg^2 , respectivamente. Quanto ao tempo de processamento, o efeito genético aditivo, dentro dos aleatórios, foi o que requereu mais tempo. Entre os vários modelos, o LEG5 foi o mais exigente, seguido do LEG4/LEG5-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5, LEG4, WIL/LEG4-LEG4, WIL e LEG3.

Tabela 2. Número de parâmetros (NP), valor de $-2\log$ da função de verossimilhança ($-2\log L$), critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), segundo os diferentes modelos de regressão aleatória

Modelo ¹	NP	$-2\log L$	AIC	BIC	OC ²
WIL	13	301248,1940	301274,1940	301396,0580	6
LEG3	13	311301,2832	311327,2832	311449,1472	7
LEG4	19	298521,8662	298559,8662	298737,9752	5
LEG5	29	296893,1313	296951,1313	297222,9819	1
WIL/LEG4-LEG4	19	297150,6379	297188,6372	297366,7463	4
LEG4/LEG4-LEG5	24	297614,5878	297662,5878	297887,5676	3
LEG4/LEG5-LEG4	24	297247,3443	297295,3442	297520,3241	2

¹WIL, LEG3, LEG4 e LEG5 são denominações dos modelos quando se utilizaram, respectivamente, as funções de Wilmink e os polinômios de Legendre de ordens 3, 4 ou 5 para descrição das partes fixa e aleatória; o código anterior ao sinal (/) nas denominações WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4 representa a função usada para a parte fixa, e os posteriores, a parte aleatória (efeito genético-aditivo permanente de ambiente); ²OC = ordem de classificação dos modelos segundo os critérios AIC e BIC.

Nas Fig. 1 e 2, estão representadas as estimativas de herdabilidade para a produção de leite, ao longo do período da lactação, obtidas usando os diferentes modelos. As estimativas de herdabilidade apresentadas para o modelo (WIL) foram obtidas em estudo anterior por Cobuci et al. (2005). As estimativas de herdabilidade variaram de 0,15 a 0,31 para WIL, de 0,15 a 0,24 para LEG3, de 0,14 a 0,26 para LEG4, de 0,11 a 0,27 para LEG5, de 0,13 a 0,33 para WIL/LEG4-LEG4, de 0,13 a 0,28 para LEG4/LEG4-LEG5 e de 0,15 a 0,33 para LEG4/LEG5-LEG4.

Os valores de herdabilidade estimados encontram-se no intervalo de variação (0,06 a 0,52) das estimativas obtidas por Olori et al. (1999), Brotherstone (2000) e Costa et al. (2003), na raça Holandesa. Em geral, foram menores no início, aumentaram até o meio da lactação,

tendendo a decrescer daí por diante à semelhança do observado por Brotherstone (2000). As estimativas de herdabilidade usando os modelos LEG4 e LEG5 praticamente não diferiram ao longo da lactação (Fig. 1).

Pool e Meuwissen (2000) recomendaram o uso de apenas lactações completas nas análises envolvendo modelos de regressão aleatória para evitar viés nas estimativas dos componentes de variância. O número de lactações incompletas usadas nas análises do presente trabalho representaram aproximadamente 75% das lactações. Esse fato pode ter sido responsável pela grande variação nas estimativas de herdabilidade no final da lactação para os modelos WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4 (Fig. 2).

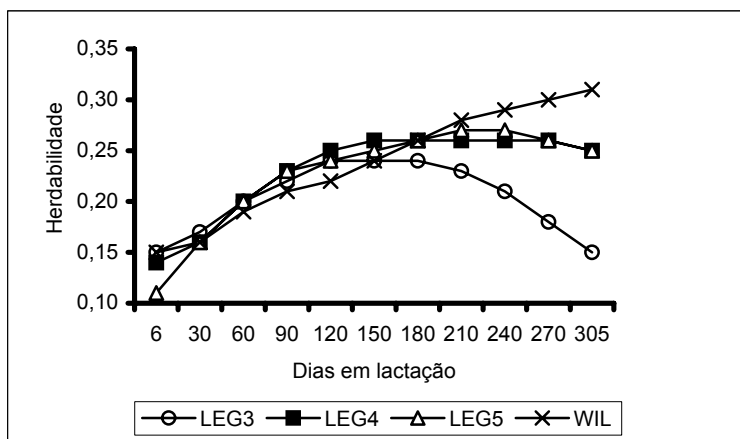


Figura 1. Estimativas de herdabilidade para produção de leite ao longo da lactação, obtidas pelos modelos LEG3, LEG4, LEG5 ou WIL.

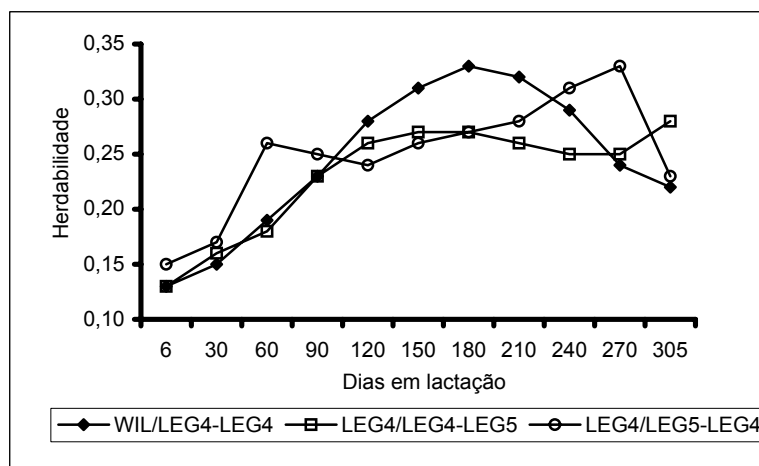


Figura 2. Estimativas de herdabilidade para produção de leite ao longo da lactação, obtidas pelos modelos WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 ou LEG4/LEG5-LEG4.

As estimativas de herdabilidade para as diferentes medidas de persistência e produção de leite até 305 dias são apresentadas na Tab. 3. As estimativas obtidas usando os modelos LEG4 e LEG5 não diferiram entre si. Os valores de herdabilidade para as medidas de persistência PS1, PS3, PS6, PS7 e PS8 não variaram quando foram usados os modelos WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4. Os valores de herdabilidade estimados para as medidas PS2, PS3 e PS4 ajustando-se o modelo LEG4 aproximaram-se dos valores 0,24, 0,20 e 0,09 obtidos por Jakobsen et al. (2002), com

mesmo modelo para produção de leite na raça Holandesa. Usando-se o modelo LEG3, as estimativas de herdabilidade para persistência foram baixas e até mesmo próximas de zero, para a maioria das medidas de persistência. Com o uso do modelo WIL, obtiveram-se as maiores estimativas de herdabilidade para persistência. Segundo Madsen (1975), diferenças entre os valores de herdabilidade para as medidas de persistência podem ser atribuídas a parte da lactação e o método utilizado no cálculo da persistência.

Utilização dos polinômios...

Tabela 3. Estimativas de herdabilidade para medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias, obtidas pelos diferentes modelos

Modelo ¹	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PS ₅	PS ₆	PS ₇	PS ₈	PS ₉	P305
WIL	0,15	0,27	0,26	0,11	0,11	0,14	0,15	0,24	0,25	0,35
LEG3	0,02	0,24	0,00	0,02	0,07	0,06	0,01	0,27	0,26	0,33
LEG4	0,10	0,23	0,18	0,11	0,07	0,08	0,09	0,15	0,19	0,34
LEG5	0,10	0,22	0,18	0,12	0,06	0,08	0,11	0,15	0,22	0,34
WIL/LEG4-LEG4	0,09	0,36	0,18	0,15	0,11	0,09	0,09	0,14	0,24	0,35
LEG4/LEG4-LEG5	0,10	0,21	0,18	0,10	0,07	0,08	0,10	0,14	0,20	0,34
LEG4/LEG5-LEG4	0,10	0,32	0,18	0,17	0,08	0,08	0,10	0,14	0,25	0,36

¹WIL, LEG3, LEG4 e LEG5 = denominações dos modelos quando se utilizaram, respectivamente, as funções de Wilmink e os polinômios de Legendre de ordens 3, 4 ou 5 para descrição das partes fixa e aleatória; o código anterior ao sinal (/) nas denominações WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4 representa a função usada para a parte fixa, e os posteriores, a parte aleatória (efeito genético-aditivo permanente de ambiente); PS₁ a PS₉ = persistência na lactação; P305 = produção de leite até 305 dias.

Entre as várias medidas de persistência na lactação, PS₂, PS₈ e PS₉ foram as que apresentaram os maiores valores de herdabilidade. Vale ressaltar que essas duas últimas medidas são usadas, respectivamente, em avaliações genéticas para persistência na Finlândia e na Holanda. A medida ideal para persistência na lactação deve apresentar valor econômico expressivo; elevada variância genética; alta herdabilidade; e baixa correlação com a produção total de leite aos 305 dias (Jakobsen et al., 2002).

As estimativas de herdabilidade para P305 praticamente não variaram entre modelos (Tab. 3). Isto provavelmente seja explicado pelo fato de o cálculo da P305 levar em consideração todo o período da lactação (o que não ocorre com as medidas de persistência), assim, possíveis diferenças para os componentes de variância,

obtidas entre os modelos, para períodos específicos da lactação, poderiam ser anuladas diante da consideração do período total da lactação.

Na Tab. 4 estão apresentados os valores de correlação genética entre as medidas de persistência e produção de leite até 305 dias obtidos usando-se os diferentes modelos. Diferentemente das estimativas de herdabilidade, os valores das correlações genéticas variaram com o modelo e a medida de persistência. Os valores obtidos utilizando-se os modelos LEG4 e LEG5 não diferiram para a maioria das medidas de persistência. As estimativas de correlação genética entre as medidas PS₁, PS₂, PS₃, PS₄, PS₅, PS₇, PS₈, PS₉ e P305, utilizando-se o modelo LEG4, são superiores às encontradas por Jakobsen et al. (2002) e Kistemaker (2003), na raça Holandesa.

Tabela 4. Estimativas de correlação genética para as medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias, obtidas pelos diferentes modelos

Modelo ¹	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PS ₅	PS ₆	PS ₇	PS ₈	PS ₉
WIL	0,35	0,55	0,44	0,38	-0,31	0,31	0,35	0,31	0,37
LEG3	-0,49	0,48	-0,39	0,47	0,48	-0,49	-0,49	-0,48	0,47
LEG4	0,29	0,50	0,38	0,39	-0,05	0,14	0,30	0,15	0,39
LEG5	0,30	0,48	0,42	0,37	-0,05	0,14	0,30	0,20	0,42
WIL/LEG4-LEG4	0,26	0,57	0,43	0,49	0,20	-0,04	0,25	0,22	0,48
LEG4/LEG4-LEG5	0,32	0,53	0,41	0,42	-0,06	0,16	0,32	0,18	0,42
LEG4/LEG5-LEG4	0,30	0,28	0,46	0,19	-0,10	0,14	0,26	0,18	0,25

¹WIL, LEG3, LEG4 e LEG5 = denominações dos modelos quando se utilizaram, respectivamente, as funções de Wilmink e os polinômios de Legendre de ordens 3, 4 ou 5 para descrição das partes fixa e aleatória; o código anterior ao sinal (/) nas denominações WIL/LEG4-LEG4, LEG4/LEG4-LEG5 e LEG4/LEG5-LEG4 representa a função usada para a parte fixa, e os posteriores, a parte aleatória (efeito genético-aditivo permanente de ambiente); PS₁ a PS₉ = persistência na lactação.

Entre as diferentes medidas avaliadas, PS₅ e PS₆ apresentaram os menores valores de correlação genética com a P305, característica importante e desejável em uma medida de persistência (Jakobsen et al., 2002). Neste contexto, os

modelos LEG4 e LEG5 foram superiores ao modelo WIL. Segundo Schaeffer (2004), os polinômios ortogonais são mais apropriados para serem usados como covariáveis no ajuste de modelos de regressão aleatória.

Cobuci et al. (2004), ao compararem os resultados obtidos para seis das nove medidas de persistência avaliadas neste trabalho, concluíram que as medidas PS₅ e PS₆ são igualmente boas para serem usadas em avaliações genéticas para persistência na lactação de vacas da raça Holandesa, no estado de Minas Gerais. Kistemaker (2003), ao avaliar outras medidas de persistência sob o modelo LEG4, concluiu que a medida PS₇, utilizada atualmente na avaliação genética do Canadá, mostrou-se superior às medidas usadas na Finlândia (PS₈) ou na Holanda (PS₉).

Uma vez que a função de Wilmink e os polinômios de Legendre são os mais utilizados em estudos envolvendo modelos de regressão aleatória, procurou-se comparar os valores genéticos de touros para diferentes medidas de persistência, preditos pelos modelos WIL, LEG4 e LEG5. Vale ressaltar que o LEG5 foi o modelo

que melhor se ajustou aos dados de produção de leite, segundo os testes AIC e BIC.

As médias, os desvios-padrão e os valores mínimos e máximos dos valores genéticos preditos de 936 touros usando-se os modelos WIL, LEG4 e LEG5, para persistência na lactação e produção de leite até 305 dias, são apresentados na Tab. 5. As maiores variações (desvios-padrão) entre valores genéticos dos touros ocorreram para as medidas PS₃, PS₄, PS₅, PS₈ e PS₉. Para uma mesma medida de persistência, a amplitude de variação dos valores genéticos diferiu quando foram usados os modelos LEG5 e WIL. Por exemplo, para persistência PS₅, os valores genéticos preditos, usando o modelo LEG5, variaram de -280,46 a 318,77kg, indicando amplitude genética de aproximadamente 600kg entre filhas dos touros, sendo essa amplitude cerca de 70,0% superior quando se utilizou o modelo WIL.

Tabela 5. Médias, desvios-padrão e valores mínimo e máximo dos valores genéticos de 936 touros, para as medidas de persistência e produção de leite em até 305 dias, obtidas pelo ajuste do polinômio de Legendre de ordens 4 e 5 (LEG4 e LEG5) ou da função de Wilmink (WIL)

Modelo ¹	Característica	Média	Desvios-padrão	Mínimo	Máximo
LEG4	PS ₁	0,013	0,658	-3,032	3,461
	PS ₂	1,617	57,498	-206,363	296,728
	PS ₃	1,595	69,316	-281,703	373,145
	PS ₄	2,441	106,256	-392,488	585,654
	PS ₅	-0,339	63,014	-293,760	306,782
	PS ₆	0,006	0,523	-2,626	2,313
	PS ₇	0,013	0,655	-2,989	3,420
	PS ₈	0,661	68,150	-378,725	357,273
	PS ₉	2,780	120,788	-455,521	663,646
	P305	6,617	346,803	-1388,000	1356,000
LEG5	PS ₁	0,012	0,693	-3,114	3,821
	PS ₂	1,492	58,610	-216,176	300,386
	PS ₃	1,558	71,972	-277,626	390,599
	PS ₄	2,395	112,333	-442,618	621,481
	PS ₅	-0,167	59,792	-280,460	318,776
	PS ₆	0,005	0,539	-2,911	2,749
	PS ₇	0,012	0,694	-3,137	3,833
	PS ₈	0,893	68,941	-371,852	383,342
	PS ₉	2,670	128,758	-507,517	717,256
	P305	6,755	346,337	-1382,000	1365,000
WIL	PS ₁	0,023	0,966	-3,769	5,442
	PS ₂	1,668	49,394	-171,807	266,236
	PS ₃	2,636	90,885	-316,105	510,386
	PS ₄	2,812	107,756	-405,214	607,975
	PS ₅	-2,390	106,200	-594,687	427,723
	PS ₆	0,019	0,874	-3,512	4,896
	PS ₇	0,023	0,967	-3,763	5,445
	PS ₈	1,994	87,844	-352,715	492,244
	PS ₉	3,432	133,295	-505,190	751,952
	P305	11,117	352,342	-1376,33	1378,87

¹WIL, LEG4 e LEG5 = denominações dos modelos quando se utilizaram, respectivamente, as funções de Wilmink e os polinômios de Legendre de ordens 4 e 5 para descrição das partes fixa e aleatória; PS₁ a PS₉ = persistência na lactação; P305 = produção de leite até 305 dias.

Utilização dos polinômios...

Nas Tab. 6 e 7, são apresentadas as correlações de ordem dos animais com base nos seus valores genéticos preditos, usando-se, respectivamente, os modelos LEG4 e WIL e LEG5 e WIL. Em geral, os valores obtidos foram ligeiramente maiores quando foram confrontados os modelos LEG5 e WIL. Maiores alterações na ordem dos touros ocorreram com a menor percentagem

selecionada (1% e 5%), indicando que os modelos diferiram para a predição dos valores genéticos. Os valores das correlações de ordem, para produção de leite até 305 dias, referentes aos grupos contendo 100% das vacas e 100% dos touros, foram semelhantes aos valores relatados por Kistemaker (2003), no Canadá.

Tabela 6. Correlações de ordem para medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias entre valores genéticos preditos usando modelos LEG4 e WIL para diferentes grupos de animais selecionados

Grupo selecionado	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PS ₅	PS ₆	PS ₇	PS ₈	PS ₉	P305
100% das vacas	0,97	0,92	0,97	0,90	0,77	0,92	0,97	0,93	0,92	0,99
1% dos touros	0,84	0,72	0,84	0,83	0,69	0,80	0,84	0,86	0,83	0,95
5% dos touros	0,93	0,88	0,94	0,86	0,69	0,86	0,93	0,91	0,89	0,87
100% dos touros	0,97	0,92	0,97	0,90	0,71	0,91	0,97	0,91	0,92	0,99
Touros +25 progênes	0,97	0,92	0,97	0,89	0,81	0,93	0,97	0,93	0,92	0,99

PS₁ a PS₉ = persistência na lactação; P305 = produção de leite até 305 dias.

Tabela 7. Correlações de ordem para medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias entre valores genéticos preditos usando modelos LEG5 e WIL para diferentes grupos de animais selecionados

Grupo selecionado	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PS ₅	PS ₆	PS ₇	PS ₈	PS ₉	P305
100% das vacas	0,96	0,93	0,96	0,91	0,83	0,93	0,95	0,94	0,96	0,99
1% dos touros	0,93	0,73	0,85	0,84	0,76	0,88	0,94	0,90	0,84	0,96
5% dos touros	0,95	0,90	0,97	0,90	0,83	0,91	0,95	0,95	0,92	0,89
100% dos touros	0,96	0,93	0,96	0,90	0,82	0,93	0,96	0,94	0,91	0,99
Touros +25 progênes	0,97	0,93	0,97	0,90	0,87	0,94	0,96	0,95	0,92	0,99

PS₁ a PS₉ = persistência na lactação; P305 = produção de leite até 305 dias.

Na Tab. 8, são apresentadas as correlações de ordem dos animais com base nos seus valores genéticos preditos, usando-se os modelos LEG4 e LEG5. Observam-se, também, maiores alterações na ordem dos animais com a menor

percentagem selecionada (1% e 5%), entretanto alterações mais expressivas ocorreram para as medidas de persistência PS₁, PS₃, PS₅, PS₆ e PS₇.

Tabela 8. Correlações de ordem para medidas de persistência na lactação e produção de leite até 305 dias entre valores genéticos preditos usando modelos LEG4 e LEG5 para diferentes grupos de animais selecionados

Grupo selecionado	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄	PS ₅	PS ₆	PS ₇	PS ₈	PS ₉	P305
100% das vacas	0,98	0,99	0,99	0,99	0,94	0,96	0,98	0,98	0,98	0,99
1% dos touros	0,86	0,95	0,91	0,96	0,91	0,76	0,89	0,99	0,96	0,99
5% dos touros	0,96	0,98	0,98	0,97	0,87	0,91	0,95	0,97	0,97	0,97
100% dos touros	0,97	0,99	0,99	0,98	0,90	0,94	0,97	0,96	0,98	0,99
Touros +25 progênes	0,98	0,99	0,99	0,99	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99

PS₁ a PS₉ = persistência na lactação; P305 = produção de leite até 305 dias.

Mrode et al. (2000) estudaram a eficiência do número de controles leiteiros na lactação usando modelos de regressão aleatória em avaliações genéticas para persistência, obtendo baixos

valores de correlação de ordem entre as capacidades preditas de transmissão (PTA) para persistência, quando dois, quatro e seis controles estavam disponíveis. Esses autores concluíram

que se deve ter cautela ao avaliar PTAs dos animais para persistência quando o número de controles por lactação/vaca for limitado. Portanto, um valor baixo de uma correlação de ordem pode também ser atribuído ao número reduzido de controles por lactação/vaca, pois 75% das lactações analisadas no presente trabalho eram incompletas.

Embora os testes AIC e BIC tenham apontado o modelo LEG5 como o que melhor se ajustou aos dados de produção de leite, o modelo LEG4 foi o preferido, uma vez que as estimativas dos parâmetros genéticos e dos valores genéticos preditos por ambos quase não diferiram, apresentando a vantagem de requerer menor tempo para processamento, visto que foi estimado menor número de parâmetros. Isso é de grande importância nos casos em que se realizam avaliações genéticas que envolvem grande base de dados. Também El Faro e Albuquerque (2003), no Brasil, relataram dificuldade para a escolha de um modelo usando os testes AIC e BIC, embora tenham apontado diferenças entre os modelos.

CONCLUSÕES

Os modelos de regressão aleatória envolvendo o ajuste dos polinômios de Legendre e/ou da função de Wilmink podem fornecer diferentes estimativas dos parâmetros genéticos para a maioria das medidas de persistência, assim como diferentes previsões para os valores genéticos dos animais. Dentre os modelos avaliados, o que utilizou o polinômio de Legendre de ordem 4 na descrição dos efeitos fixo e aleatórios foi o indicado para ser usado em avaliações genéticas para persistência ou produção de leite de animais da raça Holandesa. Entre as diferentes medidas de persistência na lactação, as medidas PS5 e PS6 sugeridas por Jakobsen et al. (2002) e Cobuci et al. (2004), respectivamente, foram as preferidas, uma vez que apresentaram menores correlações genéticas com produção de leite até 305 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROTHERSTONE, S.; WHITE, I.M.S.; MEYER, K. Genetic modelling of daily yield using orthogonal and parametric curves. *Anim.*

Sci., v.70, p.407-415, 2000.

COBUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; COSTA, C.N. et al. Análises da persistência na lactação de vacas da raça Holandesa, usando produção no dia do controle e modelo de regressão aleatória. *Rev. Bras. Zootec.*, v.33, p.546-554, 2004.

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. *Gen. Mol. Biol.*, v.28, p.75-83, 2005.

COBUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; PEREIRA, C.S. et al. Persistência na lactação - uma revisão. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, v.11, p.163-173, 2003.

COSTA, C.N.; MELO, C.M.R.; PACKER, I.U. et al. Genetic parameters for test day milk records of first lactation Holstein cows by random regression using Legendre polynomials. In: WORLD CONGRESS ANIMAL PRODUCTION, 9., 2003, Porto Alegre. *Anais... WCAP*, 2003. p.77.

DE ROOS, A.P.W.; HARBERS, A.G.F.; DE JONG, G. Random regression test-day model in the Netherlands. *Interbull Bull.*, n.27, p.155-158, 2001.

EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle, com diferentes estruturas de variações residuais. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.1104-1113, 2003.

HAILE-MARIAM, M.; BOWMAN, P.L.; GODDARD, M.E. Genetic and environmental relationship among calving interval, survival, persistency of milk yield and somatic cell count in dairy cattle. *Liv. Prod. Sci.*, v.80, p.189-200, 2003.

JAKOBSEN, J.H.; MADSEN, P.; JENSEN, J. et al. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holstein estimated in random regression models using REML. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.607-1616, 2002.

JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L.R.; DEKKERS, J.C.M. Genetic evaluation of dairy cattle using test day yields and random regression model. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.1217-1226, 1997.

KIRKPATRICK, M.; LOFSVOLD, D.; BULMER, M. Analysis of the inheritance,

Utilização dos polinômios...

selection of growth trajectories. *Genetics*, v.124, p.979-993, 1990.

KISTEMAKER, G.J. Comparison of persistency definitions in random regression test day models. *Interbull Bull.*, n.30, p.96-98, 2003.

MADSEN, O. A comparison of some suggested measures of persistency of milk yield in dairy cows. *Anim. Prod.*, v.20, p.191-197, 1975.

MISZTAL, I. REMLF90 manual, 2001, Disponível em: <ftp://nce.ads.uga.edu/pub/ignacy/blupf90/>. Acessado em: out. 2001.

MRODE, R.A.; SWANSON, G.J.T.; LINDBERG, C.M. Efficiency of test day models

in genetic evaluation with part lactation information. *Interbull Bull.*, n.25, p.87-91, 2000.

OLORI, V.E.; HILL, W.G.; MCGUIRK, B.J. et al. Estimating variance components for test day milk records by restricted maximum likelihood with a random regression animal model. *Liv. Prod. Sci.*, v.61, p.53-63, 1999.

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

TEKERLI, M.; AKINCI, Z.; DOGAN, I. et al. Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *J. Dairy Sci.*, v.83, p.1381-1386, 2000.