

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

HUGO COLOMBAROLLI BONFÁ

**MODELOS DE CURVA DE LACTAÇÃO E INTERVALOS DE
CONTROLE DE VACAS HOLANDESAS**

Belo Horizonte

2012

HUGO COLOMBAROLLI BONFÁ

**MODELOS DE CURVA DE LACTAÇÃO E INTERVALOS DE
CONTROLE DE VACAS HOLANDEASAS**

Dissertação apresentada à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área: Nutrição e Alimentação Animal

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Ângela Maria Quintão Lana

Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Buranelo Toral

Belo Horizonte

2012

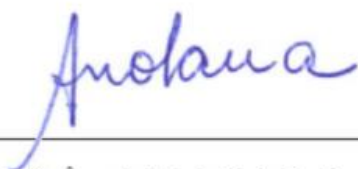
Bonfá, Hugo Colombarolli, 1987-
B713m Modelos de curva de lactação e intervalos de controle de vacas Holandesas / Hugo Colombarolli Bonfá. – 2012.
47 p. : il.

Orientadora: Ângela Maria Quintão Lana
Co-orientador: Fábio Luiz Buranelo Toral
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.
Inclui bibliografia

1. Holandês (Bovino) – Teses. 2. Leite – Produção – Teses. 3. Lactação – Teses.
4. Análise multivariada – Teses. 5. Modelos não lineares – Teses. I. Lana, Ângela Maria Quintão. II. Toral, Fábio Luiz Buranelo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título.

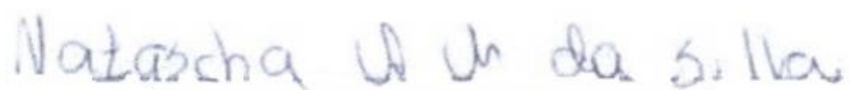
CDD – 636.208 926 64

Dissertação defendida e aprovada em 29 de fevereiro de 2012, pela comissão
examinadora constituída por:



Prof.^a Ângela Maria Quintão Lana

Presidente



Prof.^a Natascha Almeida Marques da Silva



Prof. Idalmo Garcia Pereira

“A frase mais empolgante de ouvir em ciência, a que pronuncia novas descobertas, não é “Eureka!”, mas sim “Isso é estranho...”.”

Issac Asimov

Dedico...
A minha família.

Agradecimentos

Agradeço a único e exclusivamente a “Vida” pela oportunidade.

Sumário

1. Introdução	11
2. Revisão de Literatura	12
2.1. Modelos Matemáticos	12
2.3. Modelos Empíricos	13
2.4. Modelos Mecanicistas	14
2.5. Modelos Estáticos ou Dinâmicos	14
2.6. Modelos Determinísticos ou Estocásticos	14
2.7. Modelos de curvas de lactação	15
3. Referências Bibliográficas	18

Capítulo 1: Seleção de modelos de curva de lactação de vacas holandesas

Resumo	21
1. Introdução	22
2. Material e Métodos	22
3. Resultados e Discussão	25
4. Conclusões	31
5. Agradecimentos	32
6. Referências Bibliográficas	32

Capítulo 2: Intervalos de controle leiteiro para estimação de curvas de lactação de vacas holandesas

Resumo	34
1. Introdução	35
2. Material e Métodos	35
3. Resultados e Discussão	38
4. Conclusões	44
5. Agradecimentos	44
6. Referências Bibliográficas	45

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Equações alternativas para $\emptyset 1(t)$ e $\emptyset 2(t)$ na equação geral de predição da curva de lactação $y = a\emptyset 1(t) \emptyset 2(t)$	16
-----------	---	----

Capítulo 1: Seleção de modelos de curva de lactação de vacas holandesas

Tabela 1.	Modelos de Curvas de lactação	23
Tabela 2.	Estimativa dos parâmetros e avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos avaliados	27
Tabela 3.	Avaliadores de qualidade de ajuste dos <i>clusters</i>	29
Tabela 4.	Parâmetros e avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos presentes no <i>cluster</i> 1	31

Capítulo 2: Intervalos de controle leiteiro para estimação de curvas de lactação de vacas holandesas

Tabela 1.	Modelos de Curvas de lactação	36
Tabela 2.	Avaliadores, média dos parâmetros e estimativas de produção dos modelos por intervalos de controles	39
Tabela 3.	Avaliadores de qualidade de ajuste dos <i>clusters</i>	43

Lista de Figuras

Capítulo 1: Seleção de modelos de curva de lactação de vacas holandesas

- Figura 1. Ajuste exponencial dos valores dos desvios-padrão da raiz do quadrado médio – RMSSTD em função do número de *clusters* 28
- Figura 2. Curvas de lactação estimada e observada para os modelos: (DH)- Dhanoa,1981; (SI) - Singh &Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967 30
- Figura 3. Dispersão dos resíduos dos modelos: (DH)- Dhanoa,1981; (SI) - Singh &Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967 30

Capítulo 2: Intervalos de controle leiteiro para estimação de curvas de lactação de vacas holandesas

- Figura 1. Correlação da produção total estimada, pico de produção estimado e parâmetros (a, b e c) em relação aos intervalos de pesagem leiteira: (DH) - Dhanoa,1981; (SI) - Singh &Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967 40
- Figura 2. Viés da média da produção total estimada e desvio padrão: (DH) - Dhanoa,1981; (SI) - Singh &Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967 40
- Figura 3. Viés da média do pico de produção estimado e desvio padrão: (DH) - Dhanoa,1981; (SI) - Singh &Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967 40
- Figura 4. Ajuste exponencial dos valores dos desvios-padrão da raiz do quadrado médio – RMSSTD em função do número de *clusters* 42
- Figura 5. Dendograma resultante da análise de agrupamento 43

Lista de Abreviaturas

R^2_{aj}	-	coeficiente de determinação ajustado
QME	-	quadrado médio do erro
AIC	-	critério de informação de Akaike
BIC	-	critério de informação Bayesiano
MEP	-	erro quadrático médio de predição
R^2_p	-	coeficiente de determinação de predição
C%	-	porcentagem de convergência
NE	-	Nelder (1966)
WO	-	Wood (1967)
CO	-	Cobby & Le Du (1978)
DH	-	Dhanoa (1981)
SI	-	Singh & Gopal (1982)
PA	-	Papajcsik & Boderó (1988)
GR1	-	Grossman & Koops (1988) – Monofásico
GR2	-	Grossman & Koops (1988) – Bifásico
N	-	número de observações utilizadas para ajustar a curva
P	-	número de parâmetros na função
\hat{y}_i	-	valores estimados
SQR	-	soma de quadrados do resíduo
SQT	-	soma de quadrados total
<i>Loglike</i>	-	logaritmo da função de verossimilhança
\check{y}_i	-	dados estimados considerando-se valores dos parâmetros provenientes de um ajuste sem a presença da observação i
\bar{y}	-	média dos n valores
RMSSTD	-	<i>Root mean square standart deviation</i>
NC	-	número de <i>clusters</i>
R	-	correlação entre os valores reais e os estimados
V	-	viés
Int	-	intervalo
\hat{p}_i	-	estimativa do parâmetro
p_i	-	valor observado do parâmetro
\bar{p}	-	média do parâmetro
$\sigma_{\hat{p}p}$	-	co-variância entre \hat{p}_i e p_i
$\sigma_{\hat{p}}^2$	-	variâncias de \hat{p}_i
σ_p^2	-	variâncias de p_i
r_{pt}	-	correlação da produção total estimada
r_{pp}	-	correlação do pico de produção
r_a	-	correlação do parâmetro a
r_b	-	correlação do parâmetro b
r_c	-	correlação do parâmetro c
v_p	-	viés da produção estimada
v_{pt}	-	viés do produução total estimada
v_{pp}	-	viés do pico de produção
Pt	-	produção total
Pp	-	pico de produção

1. Introdução

O estudo das curvas de lactação é uma maneira prática e eficiente de controle na atividade leiteira, auxiliando no manejo nutricional, reprodutivo, nas avaliações genéticas e na identificação de enfermidades. Esta eficiência ocorre pela estimativa do pico produtivo, da produção total por lactação e da persistência de lactação.

Desde Brody et al. (1923) tem sido estudado modelos não lineares, com o intuito de melhor descrever o comportamento produtivo leiteiro. Estes modelos são desenvolvidos em sua maioria empiricamente e têm como principais parâmetros a produção inicial, a taxa de aclave e declive da produção. Alguns pesquisadores têm estudados modelos mecanicistas, baseados em crescimento e regressão da glândula mamária, níveis hormonais ou fluxo de nutrientes (Dijkstra et al., 1997; Pollott, 2000), porém ainda existem poucas pesquisas sobre o tema.

No entanto, o desenvolvimento de equações matemáticas para predição de fenômenos biológicos devem satisfazer ao menos quatro requisitos básicos: ser matematicamente tratável; apresentar adequacidade ao conjunto de dados em estudo; ser simples ou pelo menos mais simples entre as possíveis funções (Searle, 1971); ser coerente e consistente com o sistema biológico a ser descrito.

Diversos são os modelos na literatura que satisfazem os pré-requisitos e apresentam resultados satisfatórios na predição de curvas de lactação. Tais modelos apresentam diversas bases, entre elas funções exponenciais (Cobby & Le Du, 1978), polinomiais (Singh & Gopal, 1982), polinomiais inversas (Nelder, 1966), gamma incompleta (Wood, 1967; Dhanoa, 1981), cosseno hiperbólico (Papajcsik & Bodero, 1988), funções multifásicas (Grossman & Koops, 1988), entre outras. As diversas equações disponíveis na literatura apresentam vantagens e desvantagens sob ponto de vista estatístico. Deste modo surge à questão, qual o modelo mais adequado para descrever a curva de lactação?

O ajuste destes modelos demanda uma base de dados consistente e robusta; estas informações são provenientes de pesagens leiteiras, comumente em intervalos mensais. Registros de pesagem leiteira intervalados demandam menos mão de obra, tempo e equipamentos, conseqüentemente menores custos. Em contra partida, registros contínuos, apresentam melhores ajustes, conseqüentemente melhor estimativa da curva de lactação. Portanto, fica a indagação, qual o intervalo ideal para estimação da curva de lactação?

Tais perguntas podem ser respondidas em função dos avaliadores de qualidades de ajuste, os quais nos permitem indicar estatisticamente os melhores modelos e intervalos. Os estudos de curvas de lactação, em sua maioria, apresentam dois ou três avaliadores de qualidade de ajuste, pois a interpretação de mais avaliadores torna-se complexa e caso analisada sem o auxílio computacional, pode tornar-se tendenciosa.

Dentro deste contexto, uma análise que considerasse n avaliadores de qualidade de ajuste simultaneamente, solucionaria a questão. A utilização de métodos de classificação multivariados, como a análise de agrupamento, permite a formação de grupos homogêneos em uma avaliação simultânea dos avaliadores de interesse. Esta metodologia permite agrupar e classificar resultados onde os avaliadores são concordantes. Sendo assim, objetivou-se com este estudo avaliar e identificar os modelos e intervalos mais adequados para estimativa da curva de lactação de vacas Holandesas, com o auxílio da análise de agrupamento.

2. Revisão de Literatura

2.1. Modelos Matemáticos

Modelo matemático ou apenas modelo, é a representação simplificada de parte de um todo. Como expressa claramente Arturo Rosenbluth e Norbert Wiener, "a intenção é o resultado de uma investigação científica é obter o entendimento e o controle de alguma parte do universo. Nenhuma parte substancial do universo é tão simples que possa ser compreendida e controlada, sem abstração. Abstração consiste em substituir a parte do universo sob consideração de um modelo de estruturação semelhante, porém simplificado. Modelos, formais ou intelectuais, por um lado, ou materiais, por outro, são, portanto, uma necessidade central do procedimento científico" (Rosenbluth & Wiener, 1945).

A modelagem então é uma forma simplificada de demonstrar um sistema real, tornando melhor o conhecimento e compreensão do mesmo. É uma simplificação, não duplicação da realidade. Como é explicitado pelo *Journal of the American Medical Association* citado por France & Kebreab (2007), "um modelo como um mapa, não pode mostrar tudo. Se o fizesse, não seria um modelo, mas uma duplicata".

Assim, modelos matemáticos não proporcionam a própria explicação científica, mas simplesmente interpretam hipóteses de um ponto de vista quantitativo, dando-nos condição de deduzir, conseqüentemente nos mostram onde estão os detalhes que deverão ser aceitos ou recusados.

2.2. Modelos Empíricos

Um modelo é descrito como empírico quando os dados são obtidos ignorando todos os passos intermediários que ocasionaram a resposta final (Sampaio, 2002). Os modelos empíricos são direcionados a descrever a resposta, normamente baseados na observação e experimentação e não a uma teoria preconcebida com fundamentação biológica.

A abordagem empírica deriva da filosofia do empirismo e geralmente adere à metodologia estatística. Modelos empíricos são frequentemente curva de ajuste de exercícios. Modelos de predição da curva de lactação, em sua maioria, são empíricos, pois associam o dia de lactação com a produção de leite em cada tempo.

Como este tipo de modelo é principalmente em causa com a previsão, o significado biológico direto não pode ser atribuído aos parâmetros da equação e o modelo sugere pouco acerca dos mecanismos fisiológicos. Se o modelo se adapta bem aos dados, a equação pode ser extremamente útil, embora seja específica para as condições particulares as quais os dados foram obtidos e assim a gama da sua capacidade de previsão será limitada (France & Kebreab, 2007).

2.3. Modelos Mecanicistas

Os modelos mecanicistas são desenvolvidos, procurando compreender o nexa da casualidade. Estes modelos podem ser construídos a partir da investigação da estrutura do sistema e seus principais componentes, analisando o comportamento individual dos diferentes componentes do todo e suas interações.

Para a construção de um modelo mecanístico é necessário construir hipóteses sobre os componentes importantes do sistema (variáveis), como estes se comportam e quais destes devem ser considerados. Hipóteses são a base deste tipo de modelo.

Segundo Sampaio (2002), na construção de um modelo mecanístico, os dados são obtidos pelo conhecimento de como os mesmos foram gerados, definindo passos intermediários, chamados compartimentos, que se tornam parte da equação. Nos sistemas biológicos esses compartimentos contêm processos fisiológicos conhecidos ou supostos, relações lógicas, morfométricas etc, desde que seja assumido que a resposta produzida é realmente o produto do mecanismo proposto. A modelagem mecanicista segue a filosofia tradicional do método reducionista das ciências físicas e químicas.

2.4. Modelos Estáticos ou Dinâmicos

Os modelos estáticos são aqueles que possibilitam a descrição do estado do sistema apenas em um determinado momento (*i.e.* se as entradas permanecem as mesmas, as saídas ficam inalteradas). Desde modo, estes modelos normalmente não envolvem a variável tempo. Por outro lado, os modelos dinâmicos são desenvolvidos para representar as respostas medidas sequencialmente no tempo, definindo um processo contínuo dentro do sistema em questão.

Os modelos dinâmicos se baseiam em funções diferenciais, que são integradas ao longo do tempo, com o auxílio de técnicas numéricas. Devido esta característica são capazes de identificar impactos dos tempos anteriores e atuais sobre resultados subsequentes. Entretanto, modelos estáticos se encontram principalmente na forma algébrica e são solucionados por um conjunto específico de condições em determinado tempo (Baldwin, 1995).

2.5. Modelos Determinísticos ou Estocásticos

Modelos determinísticos apresentam resultados exatos, caso se conheça o sinal de entrada e as condições iniciais. Na ciência animal, o uso deste termo implica que as soluções são especificamente aplicadas para a resposta média dos animais de uma

população (Balwin, 1995). Em contraste, o modelo estocástico ou probabilístico apresenta termos aleatórios que torna impossível o cálculo exato da saída, pois dependem de uma distribuição de probabilidades. Este tipo de modelo nos permite avaliar a dispersão de valores existente entre indivíduos de uma mesma população.

Os termos aleatórios dos modelos podem ser vistos como uma descrição das variáveis não controladas do sistema em estudo. Normalmente, o modelo determinístico engloba apenas o processo, enquanto o estocástico considera estas variáveis não controladas, englobando-as na resposta, apresentando a probabilidade de ocorrência de outros valores sob as mesmas condições.

3. Modelos de predição de curvas de lactação

A produção de leite de vacas Holandesas apresenta rápido aumento após o parto até atingir o ápice algumas semanas mais tarde, seguido de um declínio gradual até aproximadamente dez meses, após o parto. Este comportamento é característico de uma equação não linear clássica e por este motivo, modelos não lineares são tão estudados empiricamente com o intuito de descrever as curvas de lactação.

Rook et al. (1993) apresentaram uma forma geral da equação para a curva de lactação, na qual a produção leiteira (y , kg) foi representada por:

$$y = a\varnothing_1(t) \varnothing_2(t),$$

onde a é um valor positivo; $\varnothing_1(t)$ é uma função positiva crescente; $\varnothing_2(t)$ é uma função monotonamente decrescente e t é o tempo desde o início da lactação. Assim $\varnothing_1(t)$ pode ser considerado uma curva de crescimento e $\varnothing_2(t)$ uma curva de redução. Papajcsik e Bodero (1988) e Rook et al. (1993) propuseram diversas equações alternativas para $\varnothing_1(t)$ e $\varnothing_2(t)$ (Tab. 1).

Tabela 1. Equações alternativas para $\emptyset_1(t)$ e $\emptyset_2(t)$ na equação geral de predição da curva de lactação $y = a\emptyset_1(t) \emptyset_2(t)$

$\emptyset_1(t)=$	Potência	t^b
	Mitscherlich	$1 - be^{-kt}$
	Michaelis-Menten	$\frac{1}{1 + \frac{b}{k+t}}$
	Saturação cinética geral	$\frac{1}{1 + \frac{b}{k+t^n}}$
	Logístico	$\frac{1}{1 + be^{-kt}}$
	Gompertz	$b \exp[(-\ln b)(1 - e^{-kt})]$
	Tangente hiperbólico	$\frac{1 + \tanh(b + kt)}{2}$
	Logaritmo natural	$\ln(bt)$
	Arco tangente	$\text{arc tan}(bt)$
	$\emptyset_2(t)=$	Exponencial
Linear inversa		$\frac{1}{1 + ct}$
Cosseno hiperbólico inverso		$\frac{1}{\cosh(ct)}$

Segundo France & Kebreab (2007), muitas das funções propostas para $\emptyset_1(t)$ têm sido utilizadas para modelos de crescimento assintótico. As diferentes combinações destas equações apresentadas são encontradas na literatura, com o intuito de descrever curvas de lactação (Masselin et al., 1987; Papajcsik & Boderó, 1988; Morant & Gnanasakthy, 1989; Beever et al., 1991; Sherchand et al., 1995; Olori et al., 1999; Landete-Castillejos & Gallego, 2000; Silvestre et al., 2006; Thornley & France, 2007; France & Kebreab, 2007). Estas equações vão desde modelos lineares simples até complexas funções multifásicas.

Em 1967 foi proposto por Peter D. P. Wood o primeiro modelo popular para predição de curvas de lactação, o qual foi denominado posteriormente de “função gamma incompleta” por ser derivada da função de Gamma, apesar do modelo proposto anteriormente por Nelder (1966) ser considerado o favorito para estudos sobre modelagem (Batra, 1986; Scott et al., 1996). Desde então, uma série de modelos empíricos para predição da curva de lactação tem sido apresentados. Entretanto, diversos pesquisadores têm proposto modelos alternativos visando melhorar a funcionalidade, propriedades matemáticas e capacidade de previsão dos modelos.

Cobby & Le Du (1978), com o intuito de melhorar a estimativa do pico de lactação, apresentaram outro modelo. Segundo estes autores a maior dificuldade em se

ajustar equações a curva de lactação, está em obter uma boa predição do pico de produção. Em seguida, Singh & Gopal (1982) ao avaliarem a lactação de búfalas propuseram um modelo baseado no logaritmo natural, onde o mesmo não pode ser definido no tempo zero devido a característica logarítmica da função. Logo adiante, Wilmink (1987) propôs um modelo exponencial, apresentando uma vantagem aos demais, o rendimento inicial não era forçado ao zero.

Grossman & Koops (1988), ao verificarem os modelos já propostos anteriormente, observaram que a maioria destes ao estimarem a produção do início da lactação ao pico produtivo, produziam resíduos autocorrelacionados. Alternativamente, propuseram modelos multifásicos, utilizando o somatório de funções logísticas com o intuito de solucionar o problema. No entanto, alguns pesquisadores criticam os modelos multifásicos devido a falta de interpretação biológica (Beever et al., 1991; Rook et al., 1993).

Rook et al. (1993) demonstraram que a junção das funções de Mitscherich e Michaelis-Menten com as exponenciais, poderiam descrever a curva de lactação como um produto de crescimento e de processos de morte das células mamárias, melhorando assim, a interpretação biológica do modelo. Em concordância, Val-Arreola et al. (2004) verificaram que a equação Michaelis-Menten x Exponencial proposta por Rook et al. (1993) era satisfatória na predição de curvas de lactação.

Por outro lado, visando priorizar a interpretação biológica dos modelos e não a capacidade de previsão e adequação aos dados, diversos pesquisadores seguiram a linha mecanicista. O modelo mecanicista pioneiro foi proposto por Neal & Thornley (1983), baseado na diferenciação e apoptose das células da glandula mamária. Subsequentemente, Dijkstra et al. (1997) desenvolveram um modelo que descreve o desenvolvimento (crescimento celular e apoptose) da glândula mamária de mamíferos durante a prenhez e lactação.

Pollott (2000) propôs um modelo, que considerava todos processos descritos por Dijkstra et al. (1997), mais a taxa de secreção de leite por célula. O modelo de Pollott (2000) contém seis parâmetros e um parâmetro adicional para cada novo fator considerado (crescimento secundário, prenhez etc).

Por sua vez, Grossman & Koops (2003) propuseram uma versão mecanicista no modelo anteriormente proposto, este novo modelo multifásico contém 13 parâmetros, porém é exigente computacionalmente. Modelos mecanicistas provêm de equações

diferenciais que representem alguns processos biológicos da lactação (France & Kebreab, 2007).

Modelos de predição, em sua maioria, têm sido utilizados para descrever curvas médias de lactação de vários grupos genéticos de diferentes tempos de duração das lactações (Tozer & Huffker, 1999; Vargas et al., 2000; VanRaden et al., 2006). Curvas de lactações médias são úteis na otimização e simulação de modelos; no manejo reprodutivo e nutricional; e na gestão financeira (Freeze & Richards, 1992; Vargas et al., 2000; Pietersma et al., 2001; Cardoso et al., 2005; VanRaden et al., 2006).

4. Referências Bibliográficas

- BALDWIN, R. L. **Modeling ruminant digestion and metabolism**. London (UK): Chapman & Hall. 1995.
- BATRA, T. R. Comparison of two mathematical models in fitting lactation curves for pureline and crossline dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science**. v.66. p.405–414. 1986.
- BEEVER, D.E.; ROOK, A.J.; FRANCE, J. et al. A review of empirical and mechanistic models of lactational performance by the dairy-cow. **Livestock Production Science**. v.29. p.115–130. 1991.
- BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; TURNER, C.W. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. **The Journal of General Physiology**, v.5, p.442-444. 1923.
- CARDOSO, V.L.; CASSOLI, M.M.; GUILHERMINO, P.F. et al. Análise econômica de esquemas alternativos de controle leiteiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.57. n.1. p.85-92. 2005.
- COBBY, J.M.; LE DU, Y.L.P. On fitting curves to lactation data. **Animal Production**, v.26, n.2, p.127-133. 1978.
- DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; VAN RADEN, P.M. Modeling Extended Lactations of Holsteins. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.8, p.3924-3836. 2007.
- DHANOVA, M.S. A note on an alternative form of the lactation model of Wood. **Animal Production**, v.32. p.342. 1981.
- DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DHANOVA, M.S. et al. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**. v.80. p.2340–2354. 1997.
- FRANCE, J.; KEBREAB, E. **Mathematical Modelling in Animal Nutrition**. Cambridge: CAB International. 2007. 574p.

- FREEZE, B., AND T. RICHARDS. Lactation curve estimation for use in economic optimization models in the dairy industry. **Journal of Dairy Science**.v.75. p.2984–2989. 1992.
- GROSSMAN, M.; KOOPS, W.J. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v.71, n.6, p.1598-1608, 1988.
- LANDETE-CASTILLEJOS, T. & GALLEGO, L. The ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. **Journal of Animal Science**. v.78. p.3010–3013. 2000.
- MASSELIN, S.; SAUVANT, D.; CHAPOUTOT, P. et al. Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. **Annales de Zootechnie**. v.36. p.171–206. 1987.
- MORANT, S.V. & GNANASAKTHY, A. A new approach to the mathematical formulation of lactation curves. **Animal Production**.v.49. p.151–162. 1989.
- NEAL, H. D. ST. C. & THORNLEY, J. H. M. The lactation curve in cattle: A mathematical model of the mammary gland. **Journal Agriculture Science**.v.101. p.389–400. 1983.
- NELDER, J.A. Inverse polynomials a useful group of multi-factor response functions. **Biometrics**. v.22. n.1. p.128-141. 1966.
- OLORI, V.E.; BROTHERSTONE, S.; HILL, W.G. et al. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. **Livestock Production Science**.v.58. p.55–63. 1999.
- 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.
- PIETERSMA, D.; LACROIX, R.; LEFEBVRE, D. et al. Acase-acquisition and decision-support system for the analysis of group-average lactation curves. **Journal of Dairy Science**. v.84. p.730–739. 2001.
- POLLOTT, G.E. A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. **Journal of Dairy Science**. v.83. p.2448–2458. 2000.
- ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S. On the mathematical-description of lactation curves. **Journal of Agricultural Science**. v.121. p.97–102. 1993.
- ROSENBLUTH, A. & WEINER, N. The role of models in science. **Philosophical Science**.v.12. p.316–321. 1945.
- SCOTT, T. A.; YANDELL, B.; ZEPEDA, L. et al. Use of lactation curves for analysis of milk production data. **Journal of Dairy Science**.v.79. p.1885–1894. 1996.
- SERARLE, S.R. **Linear models**. New York: John Willey & Sons. 1971. 560p
- SHERCHAND, L.; MCNEW, R.W.; KELLOGG, D.W. et al. Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. **Journal of Dairy Science**. v.78. p.2507–2513. 1995.

- SILVESTRE, A.M.; PETIM-BATISTA, F.; COLACO, J. The accuracy of seven mathematical functions in modeling dairy cattle lactation curves based on test-day records from varying sample schemes. **Journal of Dairy Science**. v.89. p.1813–1821. 2006.
- SINGH, R.P.; GOPAL, R. Lactation curves analysis of buffaloes maintained under village conditions. **Indian Journal of Animal Science**. v.52. n.12. p.1157-1160. 1982.
- THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Science**, Wallingford: CAB International. 2 ed. 2007. 887p
- TOZER, P. R. & HUFFAKER. R. H. Mathematical equations to describe lactation curves of Holstein-Friesian cows in South Wales. **Australian Journal of Agricultural Research**.v.50. p.431–440. 1999.
- VAL-ARREOLA, D.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J. et al. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**.v.87. p.3789–3799. 2004.
- VANRADEN, P. M.; DEMATAWEWA, C. M. B.; PEARSON, R. E. et al. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. **Journal of Dairy Science**.v.89. p.3213–3220. 2006.
- VARGAS, B.; KOOPS, W.J.; HERRERO, M. et al. Modeling extended lactations of dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.83. p.1371-1380. 2000.
- WILMINK, J. B. M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. **Livestock Production Science**. v.16. p.335–348. 1987.
- WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**. v.206. p.164-165. 1967.

Capítulo 1

Seleção de modelos de curva de lactação para vacas holandesas de alta produção

Resumo

Realizou-se o ajuste de oito modelos não lineares com o intuito de selecionar modelos mais adequados a predição de curvas de lactação de vacas Holandesas. Foi utilizado um banco de dados de 3.418 lactações contendo 446.688 registros leiteiros diários, semanais, quinzenais e mensais de 2009 a 2010, proveniente de 2.583 vacas Holandesas. Visando analisar os resultados de diferentes avaliadores de qualidade de ajuste, adotou-se à análise de agrupamento do centroide. Os critérios de qualidade de ajuste foram: coeficiente de determinação ajustado, quadrado médio do erro, critério de informação de Akaike, critério de informação Bayesiano, erro quadrático médio de predição, coeficiente de determinação de predição e porcentagem de convergência. Os modelos que apresentaram melhores ajustes, baseado na análise de agrupamento, para o conjunto de dados avaliado foram, Singh & Gopal (1982), Wood (1967) e Dhanoa (1981) respectivamente.

Palavras chave: análise de agrupamento, análise multivariada, modelos não lineares.

1. Introdução

Curvas de lactação referem-se à representação gráfica da relação entre produção leiteira e tempo de lactação a partir do parto (Papajcsik & Boderó, 1988). O conhecimento desta relação é necessário para determinar o manejo nutricional e reprodutivo dos animais em lactação. Esta determinação ocorre por estimativa do pico produtivo, da produção total por lactação e da persistência de lactação (Wood, 1980).

A importância da curva de lactação se estende na caracterização da produção inicial após o parto, produção e momento do pico de produção (*i.e.* produção máxima), duração da lactação, intensidade do aclave ao pico e intensidade do declive da lactação (Thornley & France, 2007); além de identificar quedas bruscas de produção, referentes a enfermidades, nutrição e manejo.

As primeiras representações matemáticas da curva de lactação surgiram na década de 20 com Brody et al. (1923) e Brody et al. (1924). Porém, os modelos de curva de lactação se tornaram usuais após o modelo não linear proposto por Wood (1967).

Desde então, foram propostos diversos modelos matemáticos com o intuito de avaliar curvas de lactação baseados em funções exponenciais (Cobby & Le Du, 1978), polinomiais (Singh & Gopal, 1982), polinomiais inversas (Nelder, 1966), gamma incompleta (Dhanao, 1981), cosseno hiperbólico (Papajcsik & Boderó, 1988) e funções multifásicas (Grossman & Koops, 1988).

Logo, objetivou-se com o presente trabalho identificar os modelos de curvas de lactação que melhor se ajustem aos dados de produção de vacas Holandesas de alto potencial produtivo.

2. Material e Métodos

Foi utilizado um banco de dados de 3.418 lactações contendo 446.688 registros de produção leiteira diária, provenientes de 2.583 vacas Holandesas puras de alto potencial produtivo, de primeira a oitava ordem de parto. Estas informações foram obtidas a partir de pesagens diárias, semanais, quinzenais e mensais de 2009 a 2010, cedido por duas fazendas comerciais, Vacaria – Rio Grande do Sul e Inhaúma – Minas Gerais, Brasil.

O banco de dados é proveniente de Os dados utilizados passaram pela seguinte triagem: controles em pelo menos 90% dos dias em lactação; controles superiores a 120 dias; apresentar os primeiros registros realizados entre os dias 5 e 50 e conter os últimos registros entre os dias 121 e 305 de lactação.

Oito modelos de curvas de lactação foram ajustados aos registros de controle leiteiro (Tab. 1). Foi empregado o método dos quadrados mínimos ordinários, solucionados por meio do processo iterativo de Gauss-Newton, utilizando o procedimento NLIN do SAS 8.0 (SAS, 2000).

Tabela 1 – Modelos de Curvas de lactação

Autor	Modelo proposto ¹	
Nelder (1966)	$\hat{y}_t = t / (a + bt + ct^2)$	(NE)
Wood (1967)	$\hat{y}_t = a t^b e^{-ct}$	(WO)
Cobby & Le Du (1978)	$\hat{y}_t = a - bt - a e^{-ct}$	(CO)
Dhanao (1981)	$\hat{y}_t = at^{bc} e^{-ct}$	(DH)
Singh & Gopal (1982)	$\hat{y}_t = a - bt + c \ln(t)$	(SI)
Papajcsik & Bodero (1988)	$\hat{y}_t = a t^b / \cosh(ct)$	(PA)
Grossman & Koops(1988)	$\hat{y}_t = \sum_{i=1}^n \left(a_i b_i \left(1 - \tanh^2(b_i(t - c_i)) \right) \right)$	(GR1)
Grossman & Koops (1988)	$\hat{y}_t = \sum_{i=1}^2 \left(a_i b_i \left(1 - \tanh^2(b_i(t - c_i)) \right) \right)$	(GR2)

¹ y_t = produção de leite individual (L/dia); t = dias em lactação; a, b, c, a_i, b_i, c_i = parâmetros definidos pelo modelo

A qualidade de ajuste dos modelos foi verificada quanto a: porcentagem de convergência (C%), quadrado médio do erro (QME), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), critério de Akaike (AIC), critério de Bayes (BIC), erro quadrático médio de predição (MEP) e coeficiente de determinação de predição (R^2_p):

$$QME = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}$$

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{SQR}{SQT}$$

$$AIC = -2\loglike + 2p$$

$$BIC = -2\loglike + p\ln(n)$$

$$MEP = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \check{y}_i)}{(n)}$$

$$R^2_p = 1 - \frac{nMEP}{\sum_{i=1}^n \check{y}_i^2 - n\bar{y}^2}$$

em que: n é o número de observações utilizadas para ajustar a curva, p é o número de parâmetros na função, \hat{y}_i representa os valores estimados, SQR é a soma de quadrados do resíduo, SQT a soma de quadrados total, \loglike é o valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando-se as estimativas dos parâmetros, \check{y}_i representa os dados

estimados considerando-se valores dos parâmetros provenientes de um ajuste sem a presença da observação i , e \bar{y} é a média dos n valores.

Os modelos foram avaliados em primeira instância para todas as lactações simultaneamente e em seguida para lactações individuais. Ao se considerar o conjunto de dados isolados para cada modelo, os valores dos avaliadores são provenientes de dados obtidos a partir de uma avaliação simultânea de todas as lactações, apenas para o C% o valor considerado foi à média dos valores dos avaliadores individuais de cada lactação.

Para o cálculo da porcentagem de convergência considerou-se não-convergentes as lactações que completaram 32.000 iterações (*i.e.* máximo de interações permitido pelo procedimento NLIN, SAS 8.0.) sem obtenção de redução da soma de quadrado do resíduo (SQR).

Obtidos os avaliadores para cada um dos modelos testados, confeccionou-se uma base de dados multivariada, na qual os modelos correspondem às unidades a serem agrupadas, e os avaliadores às variáveis medidas.

Para avaliação desta base de dados, foi utilizado o método de agrupamento hierárquico do centróide. Neste método, a distância entre dois grupos é definida como sendo a distância entre os vetores de médias, também denominados centróides, dos grupos comparados.

A determinação do número ótimo de grupos foi obtida pelos desvios-padrão da raiz do quadrado médio (*Root mean square standart deviation* - RMSSTD), que mede a homogeneidade dos grupos, quanto menor o RMSSTD, maior é a semelhança entre os grupos, condição esta verificada na presença de um grande número de grupos. Este índice, segundo Sharma (1996), é dado por:

$$RMSSTD_k = \sqrt{\frac{SQ_1 + SQ_2 + \dots + SQ_p}{g_{l_1} + g_{l_2} + \dots + g_{l_p}}}$$

onde: $SQ_j = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$ representa a soma de quadrado da j -ésima variável calculada, considerando que as n observações presentes em cada novo *cluster* (grupo) k , obtém-se um novo valor para o índice em questão.

Gerado os *clusters*, uma ordenação das médias obtidas para cada avaliador dos presentes modelos foi realizada. Como critérios de ordenação, foram considerados os maiores valores de R^2_{aj} , R^2_p e percentual de convergência e menores valores de QME, AIC, BIC e MEP.

Foi utilizado o procedimento CLUSTER do SAS 8.0 (SAS, 2000) para realização da análise de agrupamento. Como resultado foi obtido valores de RMSSTD em relação ao número de *clusters*, o qual possibilitou a identificação do número ideal de grupos. Como complemento dessa análise, utilizou-se o procedimento TREE (SAS, 2000), para se visualizar o dendograma e verificar quais intervalos pertenciam a cada grupo obtido pela discriminação estatística.

3. Resultados e Discussão

Foram encontrados altos valores para o coeficiente de determinação em todos os modelos avaliados (Tab. 2).

Estes resultados podem ser explicados devido o uso de dados médios no cálculo desse avaliador. Diversos pesquisadores utilizam dados individuais para tal, ocasionando em valores não significativos devido à variação individual entre lactações. Porém, modelos de curva de lactação devem representar o rebanho como um todo e não estimativas individuais.

Segundo Regazzi (2003), a utilização de dados individuais ou dados apresentando alta discrepância, podem gerar altos valores no coeficiente de determinação ($> 0,90$). O fato é que, independente de haver ou não um termo constante no modelo, o coeficiente de determinação não tem nenhum significado óbvio como avaliador isolado em regressões não lineares (Ratkowsky, 1990).

No geral, foram observados altos valores percentuais de convergência (Tab. 2), tal fato pode ter sido ocasionado devido a não limitação do número de iterações, evitando beneficiar desta forma os modelos mais simples (Tab. 2). Modelos mais complexos, contendo um número maior de parâmetros a ser estimados, tendem a convergir muito lentamente, exigindo um número maior de iterações (Regazzi, 2003).

Porém, mesmo sem limite no número de iterações as equações multifásicas e as baseadas em cosseno hiperbólico inverso (GR1, GR2 e PA) não apresentaram bons coeficientes de convergência. O ocorrido demonstra que estes modelos não se adequam adequadamente ao rebanho em teste.

Os modelos multifásicos (GR1 e GR2), surgiram com o intuito de corrigir a presença de resíduos autocorrelacionados durante a predição do início e pico de lactação, tal erro era comumente observado nos modelos derivados da equação de Gamma (WO e DH) e das funções polinomiais (NE e SI) (Dematawewe et al., 2007). Entretanto, diversos pesquisadores têm criticado tais modelos, devido à ausência de uma

base biológica (Beever et al., 1991; Rook et al., 1993). Segundo resultados obtidos por Dematawewe et al. (2007) o modelo bifásico mesmo não apresentando interpretação biológica, apresenta resultados satisfatórios em lactações longas (>305 dias).

Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros e avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos avaliados

Avaliadores ²	Modelo de curva de lactação ¹							
	NE	WO	CO	DH	SI	PA	GR1	GR2
a	0,1419	17,0477	32,9124	17,0476	14,3490	21,1169	10669,61	4,55*10 ⁵
b	0,0269	0,1800	0,0273	76,8670	0,0649	0,0947	0,0028	0,5237
c	4,39*10 ⁻⁵	0,0023	0,1282	0,0023	4,9877	-0,0034	103,6526	-50,47*10 ⁵
a ₂	-	-	-	-	-	-	-	10669,65
b ₂	-	-	-	-	-	-	-	0,0029
c ₂	-	-	-	-	-	-	-	148,5484
R ² _{aj}	0,9405	0,9852	0,8630	0,9852	0,9873	0,9485	0,8347	0,8347
QME	0,3691	0,0913	0,8754	0,0913	0,0783	0,3176	1,0232	1,0336
AIC	557,1975	136,6534	817,1512	136,6531	90,5182	511,9866	864,1102	870,1562
BIC	568,3188	147,7747	828,2726	147,7744	101,6395	523,1079	875,2316	892,3989
MEP	35,6959	34,4123	35,0809	34,4181	34,3721	34,8193	34,0468	31,4116
R ² _p	0,9754	0,9762	0,9764	0,9763	0,9762	0,9767	0,9773	0,9803
C%	0,9971	0,9959	0,9580	0,9230	0,9971	0,6899	0,8649	0,6324

¹NE = Nelder, WO = Wood, CO = Cobby & Le Du, DH = Dhanoa, SI = Singh & Gopal, PA = Papajcsik & Bodero, GR1 = Monofásico, GR2 = Bifásico; GR1 e GR2 = Grossman & Koops; ²a, b, c, a₂, b₂, c₂ = parâmetros do modelo, R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, QME = quadrado médio do erro, AIC = critério de Akaike, BIC = critério de informação Bayesiano, MEP = erro quadrático médio de predição, R²_p = coeficiente de determinação de predição, C% = percentual de convergência

Em relação aos critérios Bayesiano e de Akaike, verifica-se que os altos valores nesses avaliadores são derivados do elevado quadrado médio do erro, como pode ser verificado no modelo CO que mesmo apresentando bons valores de porcentagem de convergência e coeficiente de determinação de predição, não apresentou valores desejáveis nos critérios Bayes e Akaike (Tab. 2).

Cunha et al. (2010) ao avaliarem oito modelos de curvas de lactação para vacas mestiças de Holandês x Zebu em diferentes proporções gênicas, também notou elevados valores no quadrado médio do erro na equação de Cobby & Le Du (1978) (CO) em todas as lactações avaliadas. Os mesmos autores salientaram que o modelo, pode ter sub ou superestimado as produções de leite no meio e no final da lactação. Resultados semelhantes foram observados por Vargas et al. (2000) e Guimarães et al. (2006).

Após obtidos os valores do índice RMSSTD em relação ao número de *clusters*, foi selecionado o número ideal de grupos. Observa-se na figura 1 que a estabilização da curva em relação ao número de *clusters*, ocorre a partir do terceiro *cluster*, devido tal estabilização um número ideal de grupos considerado foi de três.

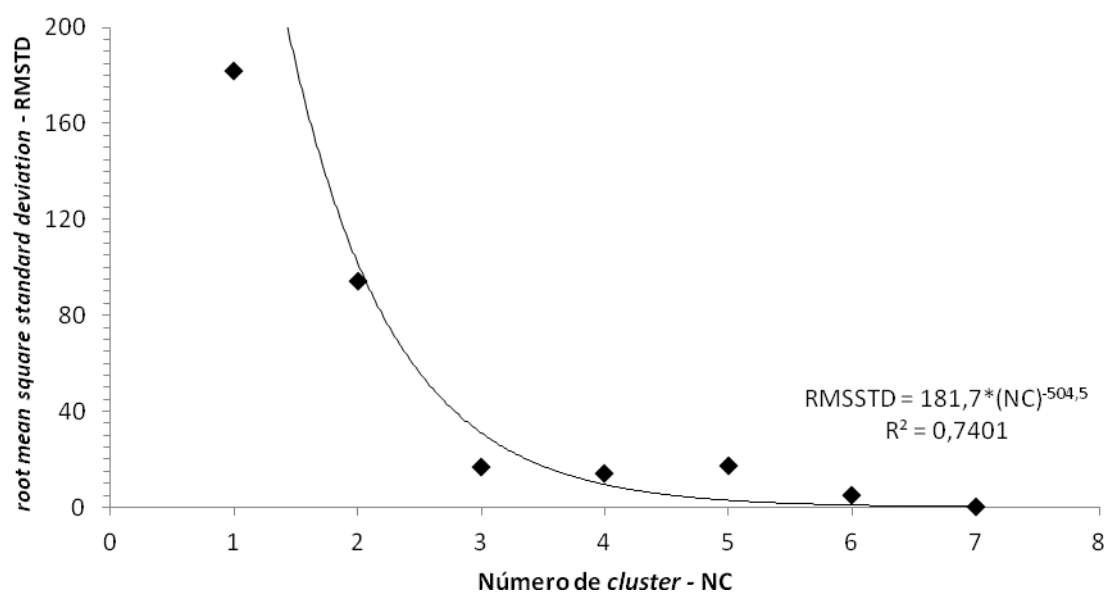


Figura 1. Ajuste exponencial dos valores dos desvios-padrão da raiz do quadrado médio – RMSSTD em função do número de *clusters*

De acordo com os resultados observados na tabela 3, verifica-se que o *cluster* que apresentou melhores resultados; menores valores para QME, AIC, BIC e MEP e maiores valores para R^2_{aj} , R^2_p e C%; foi o primeiro *cluster*. Dentre os modelos que

constam o *cluster 1* dois são derivados da função Gamma e um baseado na combinação de polinômios.

Tabela 3 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos *clusters*

Avaliadores	Clusters		
	Cluster 1 (WO, DH, SI) ¹	Cluster 2 (GR1, GR2 e CO) ¹	Cluster 3 (PA e NE) ¹
Coefficiente de determinação ajustado	0,9859	0,8441	0,9445
Quadrado médio do erro	0,0869	0,9774	0,3434
Critério de Akaike	121, 2749	850,4726	534,5920
Critério de Bayes	132, 3962	865,3010	545,7134
Erro quadrático médio de predição	34,4008	33,5131	35,2576
Coefficiente de determinação de predição	0,9762	0,9780	0,9760
Porcentagem de convergência	0,9720	0,8185	0,8435

¹NE = Nelder, WO = Wood, CO = Cobby & Le Du, DH = Dhanoa, SI = Singh & Gopal, PA = Papajcsik & Boderó, GR1 = Monofásico, GR2 = Bifásico; GR1 e GR2 = Grossman & Koops

Os modelos presentes no *cluster 1*, apesar de possuem parâmetros e ajustes da curva de lactação semelhantes (Tab. 4), todos subestimam a produção de leite ao pico de lactação. Como pode ser observadas nas figuras 2 e 3 entre o 5° e 65° dia de lactação.

Observa-se na tabela 4 os valores estimados para os parâmetros, os quais apresentam significados e interpretações distintas. A diferença observada no parâmetro *a* do modelo SI pode ser explicada pela independência deste parâmetro neste modelo. O modelo de DH foi elaborado pela reparametrização do modelo de WO, sendo o parâmetro *b* o tempo necessário para se atingir o pico de produção (Guimarães et al., 2006), tal reparametrização pode explicar a diferença deste parâmetro entre estes modelos.

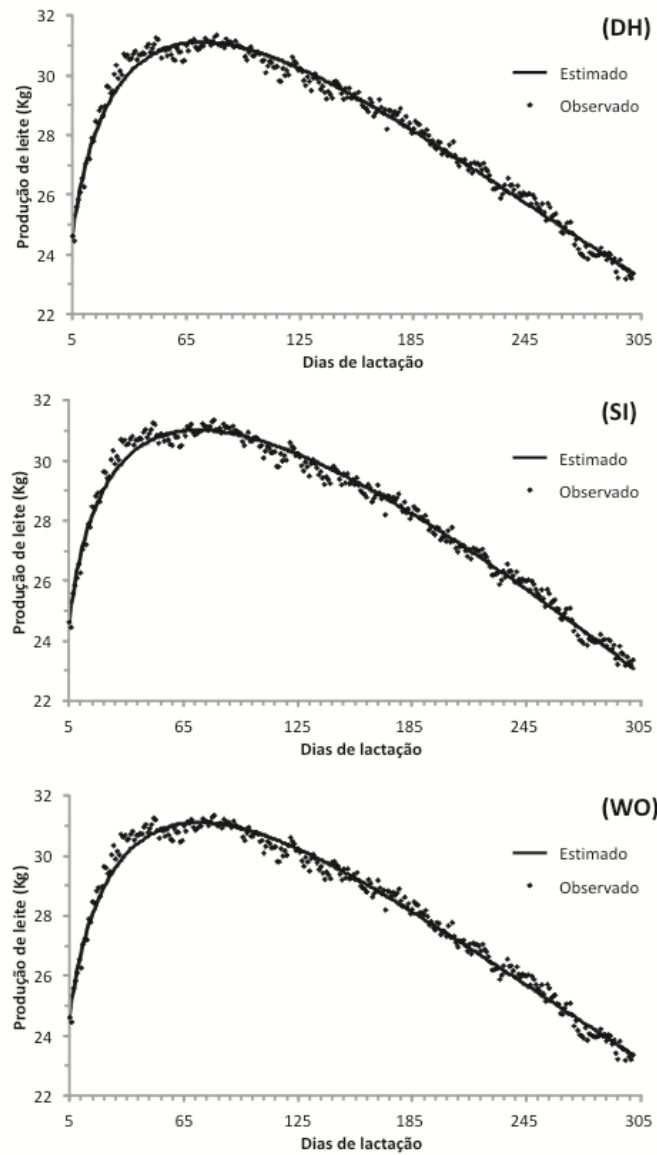


Figura 2. Curvas de lactação estimada e observada para os modelos: (DH)- Dhanoa,1981; (SI) - Singh & Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967

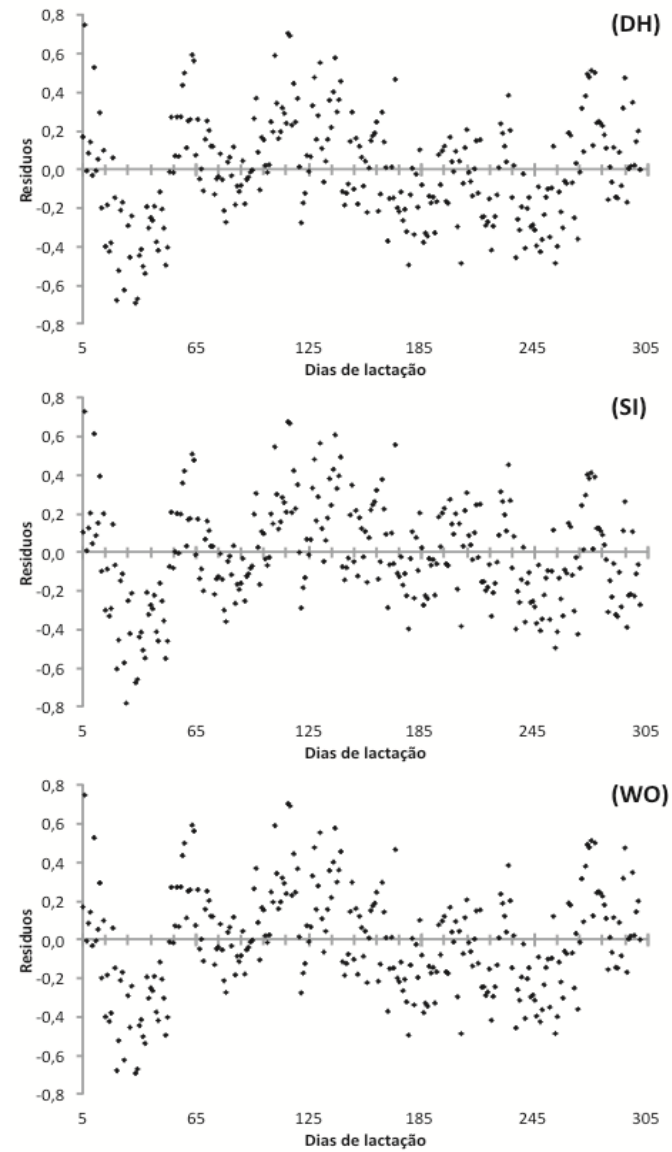


Figura 3. Dispersão dos resíduos dos modelos: (DH)- Dhanoa,1981; (SI) - Singh & Gopal, 1982; (WO) – Wood, 1967

Tabela 4 – Parâmetros e avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos presentes no *cluster 1*

Item	Modelos ¹		
	WO	DH	SI
<i>a</i>	17,0477	17,0476	14,3490
<i>b</i>	0,1800	76,8670	0,0649
<i>c</i>	0,0023	0,0023	4,9877
Coefficiente de determinação	0,9852	0,9852	0,9873
Quadrado médio do erro	0,0913	0,9128	0,0783
Critério de Akaike	136,6530	136,6530	90,5180
Critério de Bayes	147,7750	147,7740	101,6400
Erro quadrático médio de predição	34,4123	34,4181	34,3721
Coefficiente de determinação de predição	0,9761	0,9763	0,9762
Porcentagem de convergência	0,9960	0,9239	0,9971

¹WO = Wood, DH = Dhanoa e SI = Singh & Gopal

Apesar das diferenças entre os parâmetros e suas interpretações todos os modelos presentes no *cluster 1* apresentaram resultados satisfatórios. O Modelo WO por ter sido o primeiro modelo empírico a apresentar resultados satisfatórios na simulação de curvas de lactação, tem sido amplamente utilizado em diversos tipos de estudos, como avaliação de novos modelos (Cobby & Le Du, 1978; Dhanoa, 1981; Rook et al., 1993), estimação de parâmetros genéticos (Cobuci et al., 2000), simulação de produção de leite (Rotz et al., 2005; Rennó et al., 2008) e nutrição (Fox et al., 2003). Porém os demais modelos presentes no mesmo *cluster* demonstraram avaliadores semelhantes ou melhores que os observados no modelo de WO.

4. Conclusões

Os modelos que apresentaram melhores ajustes de qualidade foram, Singh & Gopal (1982), Wood (1967) e Dhanoa (1981), respectivamente. Estes modelos por predizerem satisfatoriamente as curvas de lactação do rebanho, apresentarem bons avaliadores de qualidade de ajuste e altos percentuais de convergência, são recomendados para descrever a curva de lactação de vacas Holandesas.

5. Agradecimento

Às fazendas Rasip e São João e à Médica Veterinária Heloise Duarte pela disponibilização dos dados.

6. Referências Bibliográficas

- BEEVER, D. E.; ROOK, A. J.; FRANCE, J. et al. A review of empirical and mechanistic models of lactational performance by the dairy cow. **Livestock Production Science**.v.29. p.115–130. 1991.
- BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; TURNER, C.W. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. **The Journal of General Physiology**. v.5. p.442-444. 1923.
- BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; TURNER, C.W. The relation between the initial rise and the subsequent decline of milk secretion following parturition. **The Journal of General Physiology**.v.6. p.541-545. 1924.
- COBBY, J.M.; LE DU, Y.L.P. On fitting curves to lactation data. **Animal Production**. v.26. n.2. p.127-133. 1978.
- COBUCCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; VERNEQUE, R.S. et al. Curva de lactação na raça Guzerá, **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.29. n.5. p.1332-1339. 2000.
- CUNHA, D.N.F.V.; PEREIRA, J.C.; SILVA, F.F. et al. Selection of models of lactation curves to use in milk production simulation systems.**Revista Brasileira de Zootecnia**.v.39. n.4. p.891-902. 2010.
- DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; VAN RADEN, P.M. Modeling Extended Lactations of Holsteins. **Journal of Dairy Science**. v.90. n.8.p.3924-3836. 2007.
- DHANO, M.S. A note on an alternative form of the lactation model of wood. **Animal Production**. v.32. p.342. 1981.
- FOX, D.G.; TILUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion – CNCPS 5.0**. Ithaca: The Cornell University. 2003. 202p.
- GROSSMAN, M.; KOOPS, W.J. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v.71.n.6. p.1598-1608. 1988.
- GUIMARÃES, V.P.; RODRIGUES, M.T.; SARMENTO, J.L.R. et al. Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos.**Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35. n.2. p.535-543. 2006.
- NELDER, J.A. Inverse polynomials a useful group of multi-factor response functions. **Biometrics**. v.22. n.1. p.128-141. 1966.
- 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.

- RATKOWSKY, D.A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York: M. Dekker. 1990. 241p.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**. v.50. n.287. p.9-26. 2003.
- RENNÓ, F.P.; PEREIRA, J.C.; LEITE, C.A.M. et al. Eficiência bioeconômica de estratégias de alimentação em sistemas de produção de leite. 1. Produção por animal e por área. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37. n.4. p.743-753.2008.
- ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DHANOA. M.S. On the mathematical description of lactation curves. **Journal of Agricultural Science**. v.121. p.97-102. 1993.
- ROTZ, C.A.; BUCKMASTER, D.R.; COMERFORD, J.W. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm systems. **Journal of Animal Science**. v.83. p.231-242. 2005.
- SHARMA, S. **Applied multivariate techniques**. New York: John Wiley. 1996. 493p.
- SINGH, R.P.; GOPAL, R. Lactation curves analysis of buffaloes maintained under village conditions. **Indian Journal of Animal Science**. v.52. n.12.p.1157-1160. 1982.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM- SAS. **User's guide: Statistics**.version 8.0 Cary: 2000.
- THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Science**, 2.ed, Wallingford: CAB International. 2 ed. 2007. p.887.
- VARGAS, B.; KOOPS, W.J.; HERRERO, M. et al. Modeling extended lactations of dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v.83. p.1371-1380. 2000.
- WOOD, P.D.P. A note on the lactation curves of some high yielding British Friesian cows. **Animal Production**. v.30. n.2. p.299- 302. 1980.
- WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**. v.206. p.164-165. 1967.

Capítulo 2

Intervalos de controle leiteiro para estimação de curvas de lactação de vacas Holandesas

Resumo

Foram avaliados nove intervalos de controle (1, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias) em três modelos não lineares (Singh & Gopal, 1982; Wood, 1967 e Dhanoa, 1981), com o intuito de selecionar o intervalo mais adequado para predição de curvas de lactação. Foi utilizado um banco de dados de 542 lactações contendo 112.102 registros leiteiros diários de 2009 a 2010, proveniente de 505 vacas Holandesas. Visando analisar os resultados de diferentes avaliadores de qualidade de ajuste, adotou-se à análise de agrupamento do centroide. Os critérios de qualidade de ajuste foram: quadrado médio do erro, coeficiente de determinação ajustado, erro quadrático médio de predição, coeficiente de determinação de predição, correlação entre os valores reais e os estimados e viés. Os intervalos diários e os semanais entre registros leiteiros foram considerados ideais para predição de curvas de lactação. São necessários mais estudos em relação à intervalos de pesagem para predição de curvas de lactação.

Palavras chave: análise de agrupamento, análise multivariada, modelos não lineares, pesagem leiteira

1. Introdução

Na exploração leiteira um rígido controle da produção é essencial para o sucesso da atividade e o estudo da curva de lactação dos animais é uma maneira consistente de se obter tal controle.

Segundo Papajcsik & Boderó (1988), o termo curva de lactação refere-se à representação gráfica da relação entre produção leiteira e tempo de lactação a partir do parto. O conhecimento desta relação pode auxiliar nas tomadas de decisões sobre o manejo nutricional e reprodutivo dos animais em lactação, por estimativa do pico produtivo, da produção total por lactação e da persistência de lactação (Wood, 1980).

Porém o ajuste de modelos de curvas de lactação, demanda uma base de dados consistente e robusta; estas informações são provenientes de pesagens leiteiras, comumente defasadas, devido a ineficiência das metodologias praticadas. Em virtude dos custos crescentes gerados no processo de controle leiteiro, maiores intervalos e menores representações amostrais referentes ao rebanho são submetidas ao processo (Costa et al, 2004).

No entanto a possibilidade de se utilizar um menor número de controles por lactação incrementa a viabilidade prática e conseqüentemente econômica (Albuquerque & Meyer, 2001). A avaliação da produção leiteira, por meio da produção no dia de controle, deve ser baseada em intervalos de controles ideais, visando a melhor modelagem da curva de lactação (Ferreira et al, 2003).

Registros de pesagem leiteira intervalados demandam menos mão de obra, tempo e equipamentos, conseqüentemente menores custos. Em contra partida, registros contínuos, contribuem para uma maior precisão das estimativas dos parâmetros dos modelos (Dionello et al. 2006).

Logo, objetivou-se com o presente trabalho identificar intervalos de controles, necessários para estimação precisa da curva de lactação de vacas Holandesas.

2. Material e Métodos

Foi utilizado um banco de dados de 112.102 registros de produção leiteira, obtidos a partir de pesagens leiteiras diárias de 2009 a 2010 de 542 lactações, provenientes de 505 vacas Holandesas puras de alto potencial produtivo, de primeira a oitava ordem de parto. O banco de dados foi cedido por duas fazendas comerciais, Vacaria – Rio Grande do Sul e Inhaúma – Minas Gerais, Brasil.

Os dados foram classificados de acordo com os períodos de controles; controles em pelo menos 90% dos dias e superiores a 120 dias de lactação, sendo os primeiros registros realizados entre os dias 5 e 50 e os últimos entre os dias 121 e 305 de lactação.

As curvas de lactação foram ajustadas aos registros de controle leiteiro por meio de três modelos propostos por Wood (1967), Dhanoa (1981) e Singh & Gopal (1982) (Tab. 1). Empregou-se o método dos quadrados mínimos ordinários, solucionados por meio do processo iterativo de Gauss-Newton, utilizando o procedimento NLIN do SAS 8.0. (SAS, 2000)

Tabela 1 – Modelos de Curvas de lactação

Autor	Modelo proposto ¹	
Wood (1967)	$y_t = a t^b e^{-ct}$	(WO)
Dhanoa (1981)	$y_t = at^{bc} e^{-ct}$	(DH)
Singh & Gopal (1982)	$y_t = a - bt + c \ln(t)$	(SI)

¹ y_t = produção de leite individual (L/dia); t = dias em lactação; a, b, c , = parâmetros de modelo

Com o intuito de avaliar a influência do intervalo dos controles, foram constituídos a partir dos dados diários, subarquivos contendo controles a cada 7 ($t_1/\text{int}7, \dots, t_n/\text{int}7$), 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 ($t_1/\text{int}56, \dots, t_n/\text{int}56$) dias. Assim, foram avaliados um total de nove intervalos entre os registros de um a 56 dias.

Todos modelos foram avaliados para lactações individuais, sendo que cada modelo conteve todos os intervalos propostos. A qualidade de ajuste dos intervalos foi verificada quanto ao: quadrado médio do erro (QME), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro quadrático médio de predição (MEP), coeficiente de determinação de predição (R^2_p), correlação entre os valores reais e os estimados (r) e viés (v):

$$QME = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}$$

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{SQR}{SQT}$$

$$MEP = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)}{(n)}$$

$$R^2_p = 1 - \frac{nMEP}{\sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2 - n\bar{y}^2}$$

$$r = \frac{\sigma_{\hat{p}p}}{\sqrt{\sigma_{\hat{p}}^2 \times \sigma_p^2}}$$

$$v = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{p}_i - p_i}{\bar{p}} \times 100$$

em que: n é o número de observações utilizadas para ajustar a curva, p é o número de parâmetros na função, \hat{y}_i representa os valores estimados, SQR é a soma de quadrados do resíduo, SQT a soma de quadrados total, \check{y}_i representa os dados estimados considerando-se valores dos parâmetros provenientes de um ajuste sem a presença da observação i , \bar{y} é a média dos n valores, \hat{p}_i é a estimativa do parâmetro, p_i é o valor observado do parâmetro, \bar{p} representa o média do parâmetro, $\sigma_{\hat{p}p}$ é a co-variância entre \hat{p}_i e p_i , $\sigma_{\hat{p}}^2$ e σ_p^2 são as variâncias de \hat{p}_i e p_i , respectivamente.

Os valores oriundos do intervalo diário foram considerados como referência, logo todas as análises de correlação e viés foram calculadas entre o intervalo diário e os demais intervalos (7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56). Calculou-se correlações da produção total estimada (r_{pt}), pico de produção (r_{pp}) e a correlação entre os parâmetros a (r_a), b (r_b) e c (r_c). O viés foi analisado para produção estimada (v_p), produção total estimada (v_{pt}) e pico de produção (v_{pp}).

Obtidos os avaliadores para cada um dos modelos e intervalos testados, confeccionou-se uma base de dados multivariada, na qual os intervalos correspondem às unidades a serem agrupadas, e os avaliadores às variáveis medidas. Ao se considerar o conjunto de dados individuais para cada intervalo, os valores dos avaliadores que constituem o conjunto de dados multivariados foram obtidos considerando todas as lactações simultaneamente, apenas para a análise de viés e correlação o valor considerado foi à média dos avaliadores individuais de cada lactação.

Para avaliação desta base de dados, foi utilizado o método de agrupamento hierárquico do centróide. Neste método, a distância entre dois grupos é definida como sendo a distância entre os vetores de médias, também denominados centróides, dos grupos comparados.

A determinação do número ótimo de grupos foi obtida pelos desvios-padrão da raiz do quadrado médio (*Root mean square standart deviation* - RMSSTD), que mede a homogeneidade dos grupos, quanto menor o RMSSTD, maior é a semelhança entre os grupos, condição esta verificada na presença de um grande número de grupos. Este índice, segundo Sharma (1996), é dado por:

$$\text{RMSSTD}_k = \sqrt{\frac{SQ_1 + SQ_2 + \dots + SQ_p}{gl_1 + gl_2 + \dots + gl_p}}$$

onde: $SQ_j = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$ representa a soma de quadrado da j -ésima variável calculada, considerando que as n observações presentes em cada novo *cluster* k , obtém-se um novo valor para o índice em questão.

Gerado os *clusters*, uma ordenação das médias obtidas para cada avaliador dos presentes intervalos foi realizada. Como critérios de ordenação, foram considerados os maiores valores de R^2_{aj} , R^2_p , correlação e viés e menores valores de QME e MEP.

Foi utilizado o procedimento CLUSTER do SAS 8.0 (SAS, 2000) para realização da análise de agrupamento. Como resultado foi obtido valores de RMSSTD em relação ao número de *clusters*, o qual possibilitou a identificação do número ideal de grupos. Como complemento dessa análise, utilizou-se o procedimento TREE (SAS, 2000), para se visualizar o dendograma e verificar quais intervalos pertenciam a cada grupo obtido pela discriminação estatística.

3. Resultados e Discussão

Observa-se na tabela 2 que a produção total e pico de produção estimados sofreram pequena alteração com o aumento dos intervalos de controle, porém os valores para o MEP, R^2_p , QME e R^2_{aj} apresentaram alteração relevante com o aumento do intervalo dos dias entre os controles. A influência dos intervalos de controle sob o decréscimo (MEP e R^2_{aj}) e o acréscimo (R^2_p e QME) dos avaliadores pode estar diretamente ligada à redução no número de observações na estimativa da curva.

Em estudos avaliando a influência dos períodos de controle sob a produção leiteira total, diversos pesquisadores (Jordão et al., 1947; Bailey et al., 1952; Jardim et al., 1956a, 1956b; Everett et al., 1967; Bodisco & Carvenali, 1970; Lindstrom et al., 1976; Martinez et al., 1979; Congleton Jr. & Everett, 1979; Ledic et al., 1991) concordam que o aumento do intervalos entre os registros leiteiros, resulta em um crescimento nos erros médios estimados em relação as médias observadas.

O comportamento da r_{pt} , r_{pp} , r_a , r_b e r_c em relação aos intervalos de pesagem leiteira, estão ilustrados na figura 1. Verifica-se que existe uma relação negativa entre estes avaliadores e os intervalos de controles. Apesar de não se verificar comportamento bem definido nos parâmetros com aumento dos intervalos (Fig. 1), nota-se, em todos os modelos, que a correlação dos mesmos (r_a , r_b e r_c) apresenta um decréscimo relevante à medida que se prolongam os intervalos.

Segundo Ratkowsky (1993) em modelos de regressão não linear, a adequacidade do ajustamento (R^2) pode ser medida pelo quadrado do coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos. Logo, se espera que a r_{pt} e consequentemente a r_{pp} apresentem o mesmo comportamento do R^2_{aj} , o que ratifica-se então pela figura 1 que o

mesmo comportamento de redução em relação ao aumento dos intervalos entre registros é válido.

Tabela 2. Avaliadores, média dos parâmetros e estimativas de produção dos modelos por intervalos de controles

Item ¹	Intervalo entre controles (dias)								
	1	7	14	21	28	35	42	49	56
Dhanoa, 1981									
MEP	37,344	35,027	32,645	30,976	27,124	24,280	23,642	20,281	19,507
R ² _P	0,983	0,984	0,984	0,983	0,981	0,988	0,989	0,988	0,990
QME	37,938	39,213	41,531	45,453	44,765	52,190	52,581	54,774	62,249
R ² _{aj}	1,000	0,972	0,952	0,919	0,904	0,842	0,862	0,842	0,799
a	15,280	15,106	15,024	14,756	15,487	14,893	15,493	55,903	21,649
b	767,383	1793,480	486,804	1305,980	962,085	2318,550	867,509	3150,300	1424,030
c	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Pt	7032,380	7038,740	7014,600	6981,770	6998,100	7037,310	6951,680	6966,360	6933,790
Pp	37,466	37,659	37,668	37,596	37,708	38,309	37,730	38,154	38,132
Singh & Gopal, 1982									
MEP	35,516	33,146	29,522	26,019	22,032	19,672	15,887	13,643	11,323
R ² _P	0,984	0,985	0,987	0,988	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995
QME	36,082	37,122	37,413	37,565	36,686	39,472	36,720	38,988	41,454
R ² _{aj}	1,000	0,981	0,962	0,932	0,917	0,857	0,887	0,865	0,829
a	4,875	5,023	6,126	5,303	6,824	5,369	6,473	7,003	8,406
b	0,100	0,098	0,094	0,099	0,092	0,103	0,089	0,093	0,084
c	9,019	8,919	8,609	8,912	8,395	9,033	8,440	8,447	7,894
Pt	7080,0300	7090,750	7082,260	7083,440	7094,550	7126,700	7095,540	7101,820	7073,820
Pp	37,6733	37,893	38,054	38,201	38,485	38,974	39,107	39,332	39,441
Wood, 1967									
MEP	35,450	33,292	29,354	26,546	22,087	19,565	15,924	14,042	11,154
R ² _P	0,984	0,984	0,987	0,986	0,990	0,990	0,993	0,992	0,995
QME	36,015	37,282	37,188	38,567	36,821	39,639	36,763	40,970	40,951
R ² _{aj}	1,000	0,980	0,962	0,930	0,917	0,857	0,887	0,865	0,829
a	15,409	15,296	15,695	16,868	16,319	15,839	15,938	15,676	28,194
b	0,318	0,023	0,328	0,226	0,325	0,369	0,336	0,342	0,310
c	0,004	0,002	0,004	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,320
Pt	7080,220	7082,920	7074,830	7065,710	7081,350	7106,460	7076,990	7073,630	7065,250
Pp	37,869	38,119	38,354	38,475	38,743	39,419	39,565	39,976	40,168

¹ MEP = erro quadrático médio de predição, R²_P = coeficiente de determinação de predição, QME = quadrado médio do erro, R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, Pt = produção total estimada, Pp = pico de produção estimado

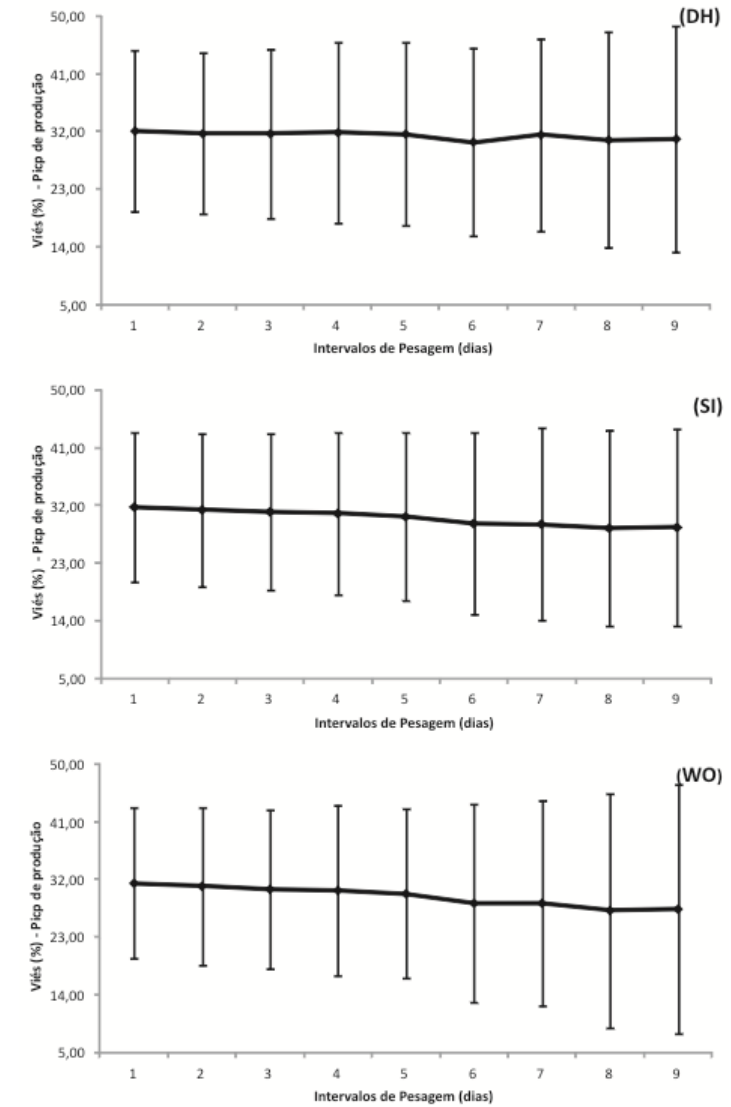
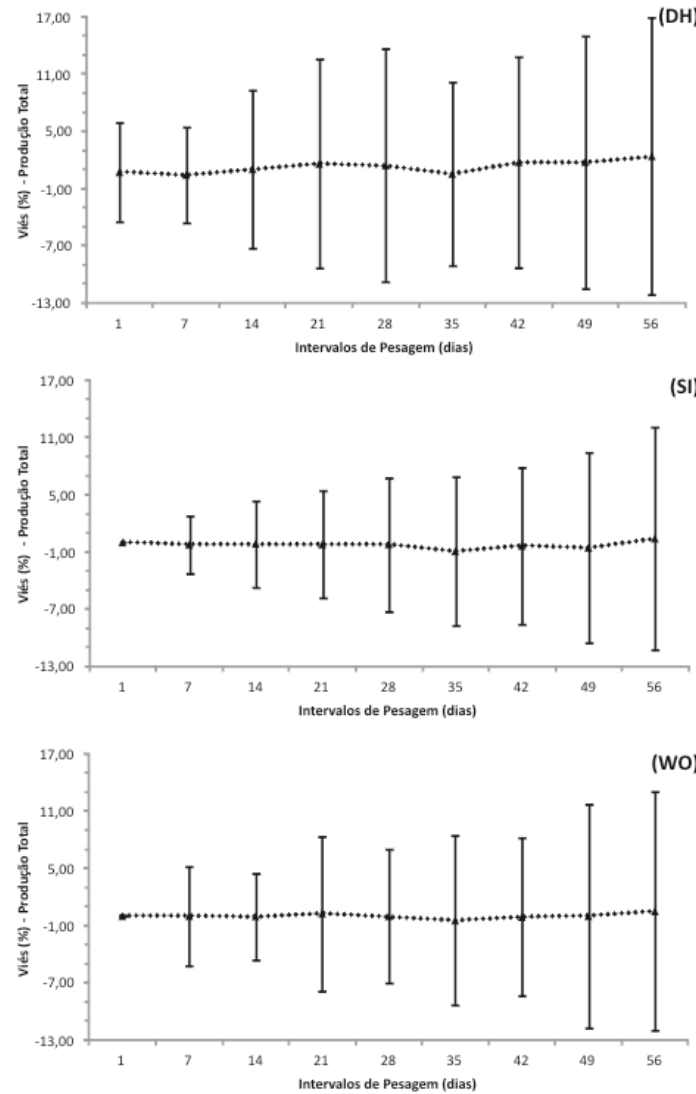
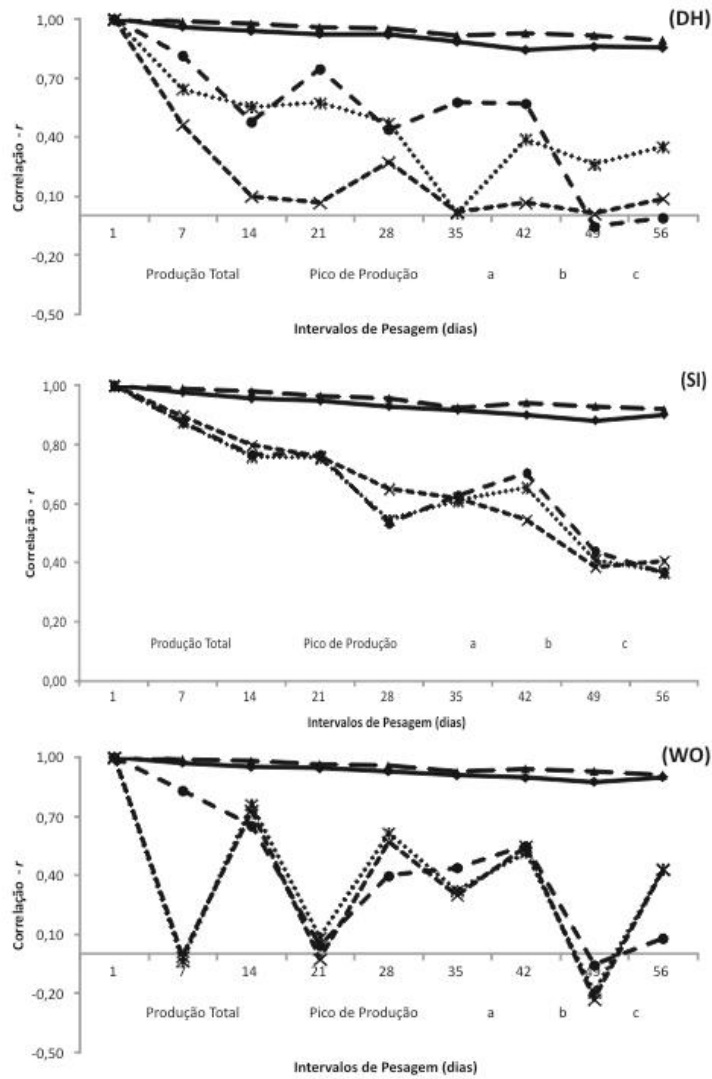


Figura 1. Correlação da produção total estimada, pico de produção estimado e parâmetros (a, b e c) em relação aos intervalos de pesagem leiteira: (DH) - Dhanoa, 1981; (SI) - Singh & Gopal, 1982; (WO) - Wood, 1967

Figura 2. Viés da média da produção total estimada e desvio padrão: (DH) - Dhanoa, 1981; (SI) - Singh & Gopal, 1982; (WO) - Wood, 1967

Figura 3. Viés da média do pico de produção estimado e desvio padrão: (DH) - Dhanoa, 1981; (SI) - Singh & Gopal, 1982; (WO) - Wood, 1967

Todavia, mesmo não observando diferença significativa entre a produção total estimada (P_t) e o pico de produção estimado (P_p) é observado na figura 2 que o aumento no intervalo entre os controles pouco influenciou o viés da produção total, mais sim o desvio padrão do mesmo. Verifica-se que o desvio padrão cresce com o aumento dos intervalos. Tal fato poderia não ter sido verificado caso a análise de viés tivesse sido interpretada para as lactações na média geral.

Já em relação ao pico de produção, observa-se alto viés na estimativa do pico de produção (Fig 3), porém baixa oscilação no viés e no desvio padrão do mesmo, devido o aumento do intervalo entre controles.

Segundo Wood (1967), as curvas geradas pela Gamma incompleta (*i.e.* denominação dada ao modelo de Wood, 1967) são caracterizadas por uma inclinação positiva inicial atingindo seu ponto máximo (pico de lactação) e em seguida, um período mais longo de declínio da produção com uma inclinação negativa. Portanto, se a porção inicial da curva a ser predita é curta ou ausente de dados para sua estimação, limitação esta verificada em intervalos prolongados entre controles, na regressão da equação o parâmetro b será estimado como negativo, e os parâmetros a e c receberam valores positivos. Contudo, a curva resultante teria uma inclinação negativa para todos os dias de lactação, pressupondo o pico de produção. Curvas desta natureza são responsáveis por uma grande quantidade de viés.

Congleton Jr. & Everett (1980) ao avaliar intervalos diários e mensais em registros contendo 120, 210 e 305 dias de observação, para lactações de vacas Holandesas, verificaram que as curvas preditas com intervalos mensais apresentaram um QME (sendo este calculado desconsiderando do número de parâmetros no denominador) elevado principalmente até o ponto de inflexão da curva. Evidenciando que, tal erro poderia ter ocorrido devido o menor número de registros neste intervalo de tempo.

A média dos avaliadores de qualidade (Tab. 2) junto as médias dos valores de correlação e viés formaram a base de dados multivariada utilizada para a avaliação da análise de agrupamento. Após obtidos os valores do índice RMSSTD em relação ao número de *clusters*, foi selecionado o número ideal de grupos.

Observa-se na figura 4 a não estabilização da curva em relação ao número de *clusters*. Devido este ocorrido o número de grupos considerado foi de seis, por apresentar um RMSSD baixo e uma possibilidade de agrupamento, levando em consideração que o número de intervalos avaliado é nove.

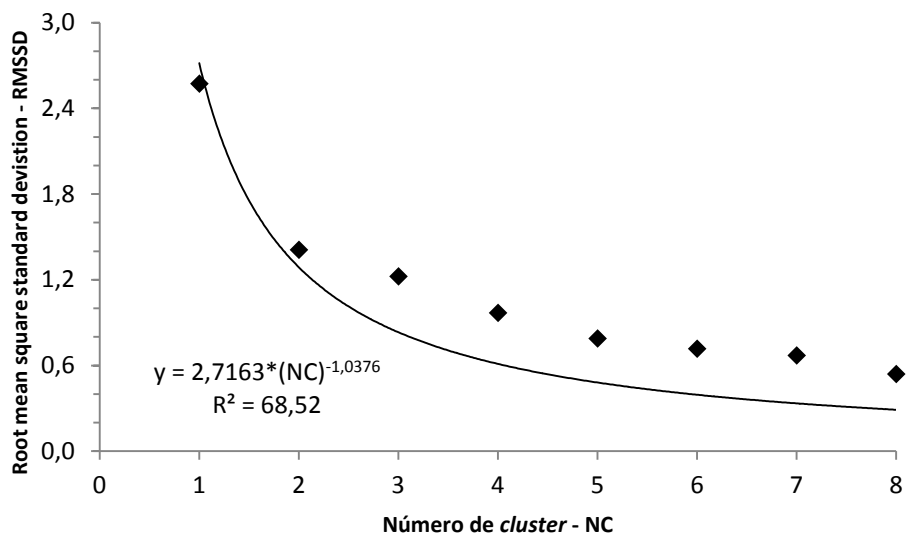


Figura 4. Ajuste exponencial dos valores dos desvios-padrão da raiz do quadrado médio – RMSSTD em função do número de *clusters*

A Tab. 3 apresenta os *clusters* com seus respectivos intervalos, médias e seus devidos avaliadores de qualidade de ajuste.

Observa-se na tabela 3 que o aumento dos intervalos de controle ocasiona perda geral na qualidade de ajuste em todos os avaliadores. É verificado que a análise de agrupamento interpretou como não diferentes os intervalos 1 e 7 dias; 14 e 21 dias; 35 e 42 dias. Contudo, pode-se afirmar que intervalos diários e semanais apresentam a mesma eficiência de controle, com o mesmo pressuposto registros com intervalos de 14 e 21; 35 e 42 dias também.

Tabela 3 – Avaliadores de qualidade de ajuste dos *clusters*

Avaliadores ²	Clusters					
	Cluster 1 (1 e 7) ¹	Cluster 2 (14 e 21) ¹	Cluster 3 (28) ¹	Cluster 4 (35 e 42) ¹	Cluster 5 (49) ¹	Cluster 6 (56) ¹
MEP	34,9625	29,1770	23,7479	19,8281	15,9887	13,9944
R ² _p	0,9841	0,9857	0,9867	0,9906	0,9911	0,9931
QME	37,1755	39,6196	39,4241	42,8942	44,9109	48,2178
R ² _{aj}	0,9889	0,9429	0,9124	0,8656	0,8574	0,8186
<i>r</i> _{pt}	0,9944	0,9710	0,9552	0,9304	0,9259	0,9077
<i>r</i> _{pp}	0,9853	0,9438	0,9265	0,8917	0,8721	0,8852
<i>r</i> _a	0,9206	0,5758	0,4576	0,5789	0,1105	0,1465
<i>r</i> _b	0,7251	0,4050	0,4985	0,3504	0,0562	0,3089
<i>r</i> _c	0,7479	0,5816	0,5446	0,4191	0,1604	0,3840
<i>v</i> _p	0,0299	0,0285	0,0171	0,0138	0,0164	0,0104
<i>v</i> _{pt}	0,1463	0,4092	0,3961	0,0688	0,3967	1,0983
<i>v</i> _{pp}	31,5020	30,9770	30,5163	29,4241	28,7300	28,8988

¹Dias de intervalo entre os controles; ²MEP = erro quadrático médio de predição, R²_p = coeficiente de determinação de predição, QME = quadrado médio do erro, R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, Correlação (*r*): *r*_{pt} = produção total estimada, *r*_{pp} = pico de produção, *r*_a = parâmetro *a*, *r*_b = parâmetro *b*, *r*_c = parâmetro *c*, viés (*v*): *v*_p = produção estimada, *v*_{pt} = produção total estimada, *v*_{pp} = pico de produção

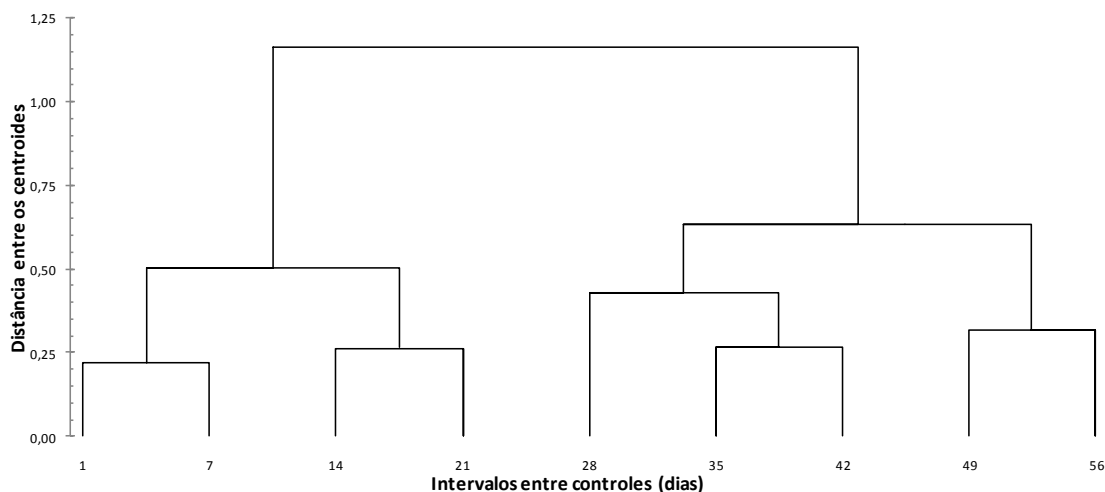


Figura 5. Dendrograma resultante da análise de agrupamento

Os *clusters* formados podem ser visualizados no dendograma (Fig. 5). Verifica-se que o intervalo entre registros de 28 dias está mais próximo do *cluster* 35 - 42 dias do que de 14 - 21. Logo, nota-se que os intervalos de 14 e 21 dias, mesmo sendo diferentes significativamente do grupo que contém registros diários e semanais, apresenta um qualidade de ajuste satisfatória.

Na literatura diversos pesquisadores têm proposto diferentes intervalos de controle para diferentes finalidades: estimativas de herdabilidade e variância genética, com intervalos de aproximadamente 30 dias (Wilmink, 1987; Meyer, 1989; Swalve, 1995; Vargas et al., 1998); produção total, intervalos variando de 20 a 45 dias dependendo da quantidade de dias de registro e da ordem de lactação (Bailey et al., 1952; Bodisco & Carvenali, 1970; Lindstrom et al., 1976; Congleton Jr. & Everett, 1979; Ledic et al., 1991); avaliação econômica, intervalos superiores ao mensal, devido ao menor custeio de mão de obra (Cardoso et al., 2005); estimativas de curvas de lactação, intervalos mensais não são satisfatórios, principalmente no pico e no início de lactação (Congleton Jr & Everett, 1980).

Estudo avaliando intervalos entre pesagens leiteiras com o intuito de avaliar curvas de lactação são raros e inconsistentes. Congleton Jr. & Everett (1980) avaliaram intervalos diários e mensais em registros variando de 120 a 305 dias e concluíram que intervalos mensais não são satisfatórios.

4. Conclusões

Os intervalos que apresentaram melhores ajustes de qualidade para todos os modelos avaliados foram o diário e o semanal. Registros leiteirso contendo intervalos de 1 e 7 dias são mais indicados para predição de curvas de lactação de vacas Holandesas.

São necessários mais estudos em relação à intervalos de pesagens para predição de curvas de lactação, visto uma defasagem na literatura de resultados referente a este contexto.

5. Agradecimentos

Às fazendas Rasip e São João e à Médica Veterinária Heloise Duarte pela disponibilização dos dados.

6. Referências bibliográficas

- BAILEY, N.D.; LISS, R.M.; STALLARD, J.E. A comparison of bimonthly and quarterly testing with month testing for estimating dairy cattle production. **Journal of Dairy Science**.v.35. p.350-355. 1952.
- BODISCO, V.; CARVENALI, A. Estimación de rendimientos de vacas lecheras em base a controles periódicos de producción. **Agronomia Tropical**.v.20. n.6. p.463-469. 1970.
- CARDOSO, V.L.; CASSOLI, M.M.; GUILHERMINO, P.F. et al. Análise econômica de esquemas alternativos de controle leiteiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.57. n.1. p.85-92. 2005.
- COBBY, J.M.; LE DU, Y.L.P. On fitting curves to lactation data. **Animal Production**. v.26. n.2. p.127-133. 1978.
- CONGLETON JR, W.R. & EVERETT, R.W. Error and Bias in using the incomplete gamma function to describe lactation curves. **Journal of Dairy Science**.v.63. p.101-108. 1980.
- COSTA, C.N.; TEIXEIRA, N.M.; FREITAS, A.F.; COBUCI, J.A.; HAGUIHARA, K. Trends in milk recording of the Holstein breed in Brasil. In: ICAR SESSION AND INTERBULL MEETING, 34., 2004, Sousse, **Proceedings...** Sousse, Tunísia, 2004. p.179-184.
- DHANOVA, M.S. A note on an alternative form of the lactation model of Wood. **Animal Production**. v.32. p.342. 1981.
- DIONELLO, N.J.L.; SILVA, C.A.S.; COSTA, C.N.; COBUCI, J.A. Estimación de parâmetros genéticos utilizando-se a produção de leite no dia do controle em primeiras lactações de vacas da raça Jersey. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1646-1652, 2006.
- EVERETT, R.W.; McDANIEL, B.T.; CARTER, H.W. Accuracy of monthly bimonthly, and trimonthly dairy herd improvement association records. **Journal of Dairy Science**. v.51. n.7. p.1051-1058. 1967.
- FERREIRA, J.W.; TEIXEIRA, N.M.; EUCLYDES, R.F., VERNEQUE, R.S.; LOPES, P.S.; TORRES, R.A.; WENCESLAU, A.A.; SILVA, M.V.G.B. DA; MAGALHÃES JÚNIOR, M.N. Avaliação genética de bovinos da raça holandesa usando a produção de leite no dia do controle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.295-303, 2003.
- GROSSMAN, M.; KOOPS, W.J. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v.71. n.6. p.1598-1608. 1988.
- JARDIM, W.R.; PEIXOTO, A.M.; SILVEIRA FILHO, S.; et al. Estudo comparativo entre métodos de controle quantitativo da produção de leite. **Revista Ceres**.v.10. n.55. p.1-19. 1956a.

- JARDIM, W.R.; PEIXOTO, A.M.; SILVEIRA FILHO, S.; et al. Estudo sobre a precisão de alguns métodos práticos de controle leiteiro. **Revista Agrícola**.v.31. p.33-44. 1956b.
- JORDÃO, L.P.; ASSIS, F.P.; MEDINA, P.; et al. Estudo sobre a periodicidade do controle quantitativo da produção leiteira. **Boletim de Indústria Animal**.v.9. p.62-71. 1947.
- LEDIC, I.L.; SOBRINHO, E.B.; TUPY, O. Comparação de métodos para estimar a produção de leite com base em controles semanais,quinzenais, mensais e bimensais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v.26. n.8. p.1127-1137. 1991.
- LINDSTROM, U.B.EL. Registro lechero em los países em desarrollo. **Revista Mundial de Zootecnia**.v.19. p.34-42. 1976.
- MARTINEZ, M.L.; MADALENA, F.E.; FREITAS, A.F. Frequência dos registros para seleção para produção de leite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.14. n.3. p.243-250. 1979.
- MEYER, K.; GRASER, H.U.; HAMMOND, K. Estimates of genetic parameters for first lactation teste day production of Australian Black and White cows. **Livestock Production Science**.v.21. n.3. p.177. 1989.
- PAPAJCSIK, I.A.; BODERO, J. Modeling laactation curves of Friesian cow in a subtropical climate. **Animal Production**. v.47. n.2. p.201-207. 1988.
- RATKOWSKY, D.A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York: M. Dekker. 1990. 241p.
- SHARMA, S. **Applied multivariate techniques**. New York: John Wiley. 1996. 493p.
- SINGH, R.P.; GOPAL, R. Lactation curves analysis of buffaloes maintained under village conditions. **Indian Journal of Animal Science**. v.52. n.12. p.1157-1160. 1982.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM- SAS. **User's guide: Statistics**.version 8.0 Cary: 2000.
- SWALVE, H.H. The effect of test day models on the estimation of genetic parameters and breeding values for dairy yield traits. **Journal of Dairy Science**. v.78. n.4.p,929. 1995.
- VARGAS, B.; PEREZ, E.; VAN ARENDONK J.A.M. Analysis of test Day yield data of Costa Rican dairy cattle. **Journal of Dairy Science**.v.81. n.1. p.255, 1998.
- WILMINK, J.B.M. Efficiency of selection for different cumulative milk, fat and protein yields in first lactation. **Livestock Production Science**.v.17. n.3. p.211. 1987.
- WOOD, P.D.P. A note on the lactation curves of some high yielding British Friesian cows. **Animal Production**. v.30. n.2.p.299- 302. 1980.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**.v.206. p.164-165. 1967.